

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2003-324246
(P2003-324246A)

(43) 公開日 平成15年11月14日 (2003.11.14)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード(参考)
H 01 S 5/125		H 01 S 5/125	2 H 0 3 7
G 02 B 6/42		G 02 B 6/42	5 F 0 7 2
H 01 S 3/10		H 01 S 3/10	Z 5 F 0 7 3
3/30		3/30	Z

審査請求 未請求 請求項の数24 O.L (全 29 頁)

(21) 出願番号	特願2003-49927(P2003-49927)	(71) 出願人	000005290 古河電気工業株式会社 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号
(22) 出願日	平成15年2月26日 (2003.2.26)	(72) 発明者	清水 裕 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願2002-56561(P2002-56561)	(72) 発明者	吉田 順自 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内
(32) 優先日	平成14年3月1日 (2002.3.1)	(74) 代理人	100089118 弁理士 酒井 宏明
(33) 優先権主張国	日本 (JP)		

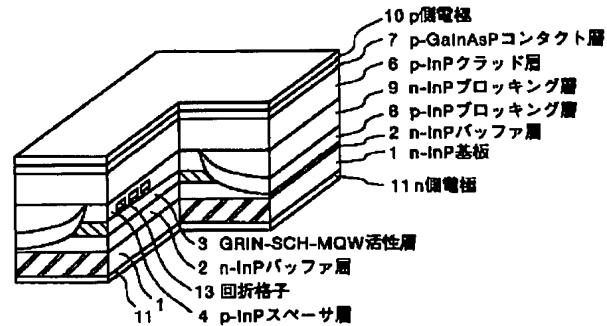
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体レーザ装置、半導体レーザモジュール、光ファイバ増幅器および半導体レーザ装置の選別方法

(57) 【要約】

【課題】 誘導ブリルアン散乱を発生することのない半導体レーザ装置を実現する。

【解決手段】 n-InP基板1上にn-InPバッファ層2、GRIN-SCH-MQW活性層3、p-InPスペーサ層4が積層される。n-InPバッファ層2の上部領域、GRIN-SCH-MQW活性層3およびp-InPスペーサ層4に隣接してp-InPブロッキング層8、n-InPプロッキング層9が積層される。p-InPスペーサ層4とn-InPプロッキング層9上にp-InPクラッド層6、p-GaInAsPコンタクト層7、p側電極10が積層され、n-InP基板1の裏面にはn側電極11が配置される。p-InPスペーサ層4内に回折格子13が配置され、発振縦モードの最大光強度に対する差分値が10dB以下である発振縦モードの本数が10本以上、より好ましくは18本以上有する光を選択する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザ光の出射端面に設けられた第1反射膜と、該レーザ光の反射端面に設けられた第2反射膜との間に形成された活性層とを備えた半導体レーザ装置であって、複数の発振縦モードを有し、発振縦モードの最大光強度に対する差分値が10dB以下である発振縦モードの本数が、前記レーザ光の全体強度と、光ファイバを用いて前記レーザ光を伝送する場合の前記光ファイバの実効断面積に基づいて決定された光を選択する回折格子を備えたことを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項2】 前記回折格子は、発振縦モードの最大光強度に対する差分値が10dB以下である発振縦モードの本数が10本以上存在する光を選択することを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザ装置。

【請求項3】 前記回折格子は、発振縦モードの最大光強度に対する差分値が10dB以下である発振縦モードの本数が18本以上存在する光を選択することを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザ装置。

【請求項4】 レーザ光の出射端面に設けられた第1反射膜と、該レーザ光の反射端面に設けられた第2反射膜との間に形成された活性層とを備えた半導体レーザ装置であって、複数の発振縦モードを有し、該複数の発振縦モードによって形成される発振波長スペクトルについて、-20dBのスライスレベルにおけるRMS法のスペクトル幅が0.7nm以上となる光を選択する回折格子を備えたことを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項5】 レーザ光の出射端面に設けられた第1反射膜と、該レーザ光の反射端面に設けられた第2反射膜との間に形成された活性層とを備えた半導体レーザ装置であって、

複数の発振縦モードを有し、該複数の発振縦モードによって形成される発振波長スペクトルについて、-20dBのスライスレベルにおけるRMS法のスペクトル幅が1.0nm以上となる光を選択する回折格子を備えたことを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項6】 レーザ光の出射端面に設けられた第1反射膜と、該レーザ光の反射端面に設けられた第2反射膜との間に形成された活性層とを備えた半導体レーザ装置であって、

第1光ファイバを用いて前記レーザ光を伝送する場合に、前記レーザ光の発振縦モードの最大光強度に対する差分値が10dB以下の発振縦モードの本数を変数xとし、前記第1光ファイバ内部において誘導ブリルアン散乱が発生する光強度の閾値f(x)と、前記発振縦モードの本数を変数xとし、発振縦モードの最大光強度に対する差分値が10dB以下となるすべての発振縦モードの光強度の和によって発振縦モードの最大光強度を除算した値g(x)と、光伝送時のレーザ光において発振縦

モードの最大光強度との差分値が10dB以下となるすべての発振縦モードの光強度の和P_{total}とが、

$$f(x) \geq g(x) \times P_{\text{total}}$$

の関係を満たす本数の発振縦モードを有する光を選択する回折格子を備えたことを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項7】 前記第1光ファイバの内部において誘導ブリルアン散乱が発生する光強度の閾値f(x)は、前記第1光ファイバと異なる第2光ファイバの実効断面積A_{eff}および実効長L_{eff}と、前記第2光ファイバの内部において誘導ブリルアン散乱を発生する光強度の閾値f₀(x)と、前記第1光ファイバの実効断面積A_{eff}および実効長L_{eff}とを用いて、

$$f(x) = f_0(x) \times (A_{\text{eff}} / L_{\text{eff}}) \times (L_{\text{eff}} / A_{\text{eff}})$$

と表されることを特徴とする請求項6に記載の半導体レーザ装置。

【請求項8】 前記回折格子によって選択される発振縦モードの波長が1100nm以上、1550nm以下であることを特徴とする請求項1～7のいずれか一つに記載の半導体レーザ装置。

【請求項9】 前記回折格子は、回折格子長が300μm以下であることを特徴とする請求項1～8のいずれか一つに記載の半導体レーザ装置。

【請求項10】 前記回折格子の回折格子長は、前記第1反射膜と前記第2反射膜によって形成された共振器長の(300/1300)倍の値以下であることを特徴とする請求項1～9のいずれか一つに記載の半導体レーザ装置。

【請求項11】 前記回折格子の結合係数と回折格子長との乗算値が0.3以下であることを特徴とする請求項1～10のいずれか一つに記載の半導体レーザ装置。

【請求項12】 前記回折格子は、グレーティング周期をランダムあるいは所定周期で変化させたことを特徴とする請求項1～11のいずれか一つに記載の半導体レーザ装置。

【請求項13】 前記第1反射膜および前記第2反射膜を含んで形成される共振器の長さは、800μm以上であることを特徴とする請求項1～12のいずれか一つに記載の半導体レーザ装置。

【請求項14】 請求項1～13のいずれか一つに記載の半導体レーザ装置と、前記半導体レーザ装置から出射されたレーザ光を外部に導波する光ファイバと、前記半導体レーザ装置と前記光ファイバと光結合を行う光結合レンズ系と、

を備えたことを特徴とする半導体レーザモジュール。

【請求項15】 前記半導体レーザ装置の温度を制御する温度制御装置と、

前記光結合レンズ系内に配置され、光ファイバ側からの

反射戻り光の入射を抑制するアイソレータと、
をさらに備えたことを特徴とする請求項14に記載の半
導体レーザモジュール。

【請求項16】 前記光ファイバの半導体レーザ側端面
は、光出射方向に対して斜めになるよう形成されている
ことを特徴とする請求項14または15に記載の半導体
レーザモジュール。

【請求項17】 請求項1～13のいずれか一つに記載
の半導体レーザ装置若しくは請求項14～16のいずれ
か一つに記載の半導体レーザモジュールを備えた励起光
源と、

信号光を伝送する光ファイバと、
該光ファイバと接続された増幅用光ファイバと、
前記励起光源から出射される励起光を増幅用光ファイバ
に入射させるためのカプラと、
前記励起光源と前記カプラとを接続する励起光伝送用光
ファイバと、
を備えたことを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項18】 前記増幅用光ファイバは、ラマン増幅
により光を増幅することを特徴とする請求項17に記載
の光ファイバ増幅器。

【請求項19】 前記増幅用光ファイバは、エルビウム
添加光ファイバであって、
前記励起光源と前記増幅用光ファイバとは遠隔に配置さ
れることを特徴とする請求項17に記載の光ファイバ増
幅器。

【請求項20】 複数の発振縦モードを有する光を選択
する回折格子を備えた半導体レーザ装置の選別方法であ
って、
設計温度範囲、設計注入電流範囲において、発振縦モー
ドの最大光強度に対する差分値が10dB以下となる発
振縦モードの本数を測定するモード本数測定工程と、
該発振縦モードの本数に基づいて半導体レーザ装置の用
途を選別する選別工程と、
を含むことを特徴とする半導体レーザ装置の選別方法。

【請求項21】 前記選別工程において、前記発振縦モー
ドの本数が10本以上の場合における半導体レーザ装
置の用途を、3dB以上の光損失を有する光ファイバ增
幅器の励起光源とすることを特徴とする請求項20に記
載の半導体レーザ装置の選別方法。

【請求項22】 前記選別工程において、前記発振縦モー
ドの本数が18本以上の場合における半導体レーザ装
置の用途を光ファイバ増幅器の励起光源とすることを特
徴とする請求項20に記載の半導体レーザ装置の選別方
法。

【請求項23】 前記設計温度範囲、前記設計注入電流
範囲において、前記発振縦モードの本数が10本未満の
温度範囲若しくは注入電流範囲が存在する場合に、前記
半導体レーザ装置の使用温度および使用注入電流範囲を
前記発振縦モードの本数が10本以上となる範囲に限定

する使用範囲決定工程をさらに有することを特徴とする
請求項20～22のいずれか一つに記載の半導体レーザ
装置の選別方法。

【請求項24】 複数の発振縦モードを有する光を選択
する回折格子を備えた半導体レーザ装置の選別方法であ
って、
設計温度範囲、設計注入電流範囲において、前記複数の
発振縦モードによって形成される発振波長スペクトルの
RMS法のスペクトル幅を測定するスペクトル幅測定工
程と、

該スペクトル幅に基づいて半導体レーザ装置の用途を選
別する選別工程と、
を含むことを特徴とする半導体レーザ装置の選別方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、レーザ光の出射端
面に設けられた第1反射膜と、該レーザ光の反射端面に
設けられた第2反射膜との間に形成された活性層とを備
えた半導体レーザ装置に関し、特に高出力半導体レーザ
装置、半導体レーザ装置を用いた半導体レーザモジュール
および光ファイバ増幅器に関し、誘導ブリルアン散乱
の発生を抑制する半導体レーザ装置の選別方法に関する
る。

【0002】

【従来の技術】 近年、インターネットをはじめとする光
通信の発展に伴い、長距離に渡って光信号を伝送するた
めに、伝送用光ファイバの途中に光ファイバ増幅器を配
置することが広くおこなわれている。この光ファイバ増
幅器は、光ファイバ中を信号光が伝送する途上におい
て、強度の低下した信号光を増幅することによって信号
光の強度を回復する。具体的には、エルビウムを添加し
た光ファイバ（以下、「EDF」と言う）を用いて増幅
する方式や、ラマン増幅を利用した方式などが提案さ
れ、実用化されている。また、EDFにおいて、海底に
敷設された伝送用光ファイバの途中で信号光の増幅をお
こなう場合に、励起光源を陸上に配置し、励起光源から
励起光伝送用光ファイバによって励起光をEDFに入射
させるいわゆるリモートポンプ式の光ファイバ増幅器が
提案されている。リモートポンプ式の光ファイバ増幅器
では、励起光源を陸上に配置することで、励起光源の保
守・交換を容易におこなうことができる。

【0003】 ここで、光ファイバ増幅器における增幅利
得が大きいほど、配置する光ファイバ増幅器の数を低減
することができ、低コストで信号光の伝送をおこなうこ
とができる。そして、光ファイバ増幅器は、励起光源と
して機能する半導体レーザ装置を備えており、信号光の
增幅利得は一般に光ファイバ増幅器に備えられた半導体
レーザ装置から出射されるレーザ光の強度に対応する。
したがって、高い增幅利得を有する光ファイバ増幅器を
実現するためには、励起光源に使用する半導体レーザ装

置が高い光出力を有することが望ましい。このような理由から、現在高出力半導体レーザ装置の開発が盛んにおこなわれ（例えば、特許文献1参照）、一部では励起光源として十分な光出力を有する半導体レーザ装置が実現している。

【0004】

【特許文献1】特開2002-076515号公報（第4頁、第1図）

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかし、励起光源を構成する半導体レーザ装置の高出力化にともなって、新たな問題が生じている。上記したように、励起光源から出射された励起光は伝送増幅用光ファイバに入射するが、一定の閾値よりも高い強度を有する光が光ファイバに入射した場合、誘導ブリルアン散乱が発生する。誘導ブリルアン散乱は、入射した光が音響波（フォノン）と交互作用することによって散乱（反射）が生ずる非線形光学現象である。フォノンのエネルギー相当を失うことにより、約11GHz低い周波数の光が入射光と逆方向に反射される現象として観測される。

【0006】ラマン増幅を用いた光ファイバ增幅器では、上述のように励起光の誘導ブリルアン散乱が発生する際には、入射した励起光の一部は、後方に反射されてしまい、ラマン利得生成に寄与しなくなる。また、この散乱光が意図しない雑音を生成する可能性がある。この励起光強度の低下は、励起光の伝送距離が短い場合はそれほど問題とならない。しかし、上述のリモートポンプを用いた光ファイバ増幅器においては、励起光源から増幅用光ファイバに到達するまでに励起光の長距離伝送が必要であるため、光強度の低下を無視することはできない。リモートポンプを用いた光ファイバ増幅器の場合、通常の光ファイバ中における光損失よりも高い割合で励起光の強度が低下することとなるため、増幅用光ファイバにおいて、增幅利得が低下するという問題が生じる。

【0007】上記従来技術の欠点に鑑みて、本発明は、誘導ブリルアン散乱の発生を抑制する高出力半導体レーザ装置、半導体レーザ装置を用いた半導体レーザモジュールおよび光ファイバ増幅器を実現し、誘導ブリルアン散乱の発生を抑制する半導体レーザ装置の選別方法を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、請求項1にかかる半導体レーザ装置は、レーザ光の出射端面に設けられた第1反射膜と、該レーザ光の反射端面に設けられた第2反射膜との間に形成された活性層とを備えた半導体レーザ装置であって、複数の発振縦モードを有し、発振縦モードの最大光強度に対する差分値が10dB以下である発振縦モードの本数が、前記レーザ光の全体強度と、光ファイバを用いて前記レーザ光を伝送する場合の前記光ファイバの実効断面積に基づいて決定された光を選択する回折格子を備えたことを特徴とする。

て決定された光を選択する回折格子を備えたことを特徴とする。

【0009】この請求項1の発明によれば、発振縦モードの最大光強度に対する差分値が10dB以下となる発振縦モードの本数を、全体強度と、レーザ光を伝送する光ファイバの実効断面積に基づいて決定することとしたため、当該半導体レーザ装置を光源として光ファイバ中にレーザ光を伝送した場合に、誘導ブリルアン散乱の発生を抑制することが可能である。

10 【0010】また、請求項2にかかる半導体レーザ装置は、上記の発明において、レーザ光の出射端面に設けられた第1反射膜と、該レーザ光の反射端面に設けられた第2反射膜との間に形成された活性層とを備えた半導体レーザ装置であって、複数の発振縦モードを有し、発振縦モードの最大光強度に対する差分値が10dB以下である発振縦モードの本数が10本以上存在する光を選択する回折格子を備えたことを特徴とする。

【0011】この請求項2の発明によれば、発振縦モードの最大光強度に対する差分値が10dB以下である発振縦モードの本数が10本以上存在する光を選択する回折格子を備えることとしたため、誘導ブリルアン散乱をある程度抑制し、光損失が3dB以上となる光ファイバ增幅器に組み込んだ場合、誘導ブリルアン散乱を完全に抑制することができる。

20 【0012】また、請求項3にかかる半導体レーザ装置は、上記の発明において、レーザ光の出射端面に設けられた第1反射膜と、該レーザ光の反射端面に設けられた第2反射膜との間に形成された活性層とを備えた半導体レーザ装置であって、複数の発振縦モードを有し、発振縦モードの最大光強度に対する差分値が10dB以下である発振縦モードの本数が18本以上存在する光を選択する回折格子を備えたことを特徴とする。

30 【0013】この請求項3の発明によれば、発振縦モードの最大光強度に対する差分値が10dB以下である発振縦モードの本数が18本以上存在する光を選択する回折格子を備えることとしたため、誘導ブリルアン散乱を完全に抑制し、光損失の少ない任意の光ファイバ増幅器に組み込んで励起光源として使用することができる。

【0014】また、請求項4にかかる半導体レーザ装置は、レーザ光の出射端面に設けられた第1反射膜と、該レーザ光の反射端面に設けられた第2反射膜との間に形成された活性層とを備えた半導体レーザ装置であって、複数の発振縦モードを有し、該複数の発振縦モードによって形成される発振波長スペクトルについて、-20dBのスライスレベルにおけるRMS法のスペクトル幅が0.7nm以上となる光を選択する回折格子を備えたことを特徴とする。

40 【0015】この請求項4の発明によれば、発振波長スペクトルについて、-20dBのスライスレベルにおけるRMS法のスペクトル幅が0.7nm以上となる光を

選択する回折格子を備えることとしたため、誘導ブリルアン散乱をある程度抑制し、光損失が3dB以上の光ファイバ増幅器等に組み込むことで、誘導ブリルアン散乱を完全に抑制することができる。

【0016】また、請求項5にかかる半導体レーザ装置は、レーザ光の出射端面に設けられた第1反射膜と、該レーザ光の反射端面に設けられた第2反射膜との間に形成された活性層とを備えた半導体レーザ装置であって、複数の発振縦モードを有し、該複数の発振縦モードによって形成される発振波長スペクトルについて、-20dBのスライスレベルにおけるRMS法のスペクトル幅が1.0nm以上となる光を選択する回折格子を備えたことを特徴とする。

【0017】この請求項5の発明によれば、発振波長スペクトルについて、-20dBのスライスレベルにおけるRMS法のスペクトル幅が1.0nm以上となる光を選択する回折格子を備えることとしたため、誘導ブリルアン散乱を完全に抑制し、光損失の少ない任意の光ファイバ増幅器等に組み込んで励起光源として使用することができる。

【0018】また、請求項6にかかる半導体レーザ装置は、レーザ光の出射端面に設けられた第1反射膜と、該レーザ光の反射端面に設けられた第2反射膜との間に形成された活性層とを備えた半導体レーザ装置であって、第1光ファイバを用いて前記レーザ光を伝送する場合に、前記レーザ光の発振縦モードの最大光強度に対する差分値が10dB以下での発振縦モードの本数を変数xとし、前記第1光ファイバ内部において誘導ブリルアン散乱が発生する光強度の閾値f(x)と、前記発振縦モードの本数を変数xとし、発振縦モードの最大光強度に対する差分値が10dB以下となるすべての発振縦モードの光強度の和によって発振縦モードの最大光強度を除算した値g(x)と、光伝送時のレーザ光において発振縦モードの最大光強度との差分値が10dB以下となるすべての発振縦モードの光強度の和P_{total}とが、(x) $\geq g(x) \times P_{total}$ の関係を満たす本数の発振縦モードを有する光を選択する回折格子を備えたことを特徴とする。

【0019】また、請求項7にかかる半導体レーザ装置は、上記の発明において、前記第1光ファイバの内部において誘導ブリルアン散乱が発生する光強度の閾値f(x)は、前記第1光ファイバと異なる第2光ファイバの実効断面積A_{eff}および実効長L_{eff}と、前記第2光ファイバの内部において誘導ブリルアン散乱を発生する光強度の閾値f₀(x)と、前記第1光ファイバの実効断面積A_{eff}および実効長L_{eff}とを用いて、(x) = f₀(x) $\times (A_{eff} / L_{eff}) \times (L_{eff} / A_{eff})$ と表されることを特徴とする。

【0020】また、請求項8にかかる半導体レーザ装置は、上記の発明において、前記回折格子によって選択さ

れる発振縦モードの波長が1100nm以上、1550nm以下であることを特徴とする。

【0021】また、請求項9にかかる半導体レーザ装置は、上記の発明において、前記回折格子は、回折格子長が300μm以下であることを特徴とする。

【0022】また、請求項10にかかる半導体レーザ装置は、上記の発明において、前記回折格子の回折格子長は、前記第1反射膜と前記第2反射膜によって形成された共振器長の(300/1300)倍の値以下であることを特徴とする。

【0023】また、請求項11にかかる半導体レーザ装置は、上記の発明において、前記第1反射膜側または前記第1反射膜近傍に設けられる回折格子は、該回折格子の結合係数と回折格子長との乗算値が0.3以下であることを特徴とする。

【0024】また、請求項12にかかる半導体レーザ装置は、上記の発明において、前記回折格子は、グレーティング周期をランダムあるいは所定期間で変化させたことを特徴とする。

20 【0025】また、請求項13にかかる半導体レーザ装置は、上記の発明において、前記第1反射膜および前記第2反射膜を含んで形成される共振器の長さは、800μm以上であることを特徴とする。

【0026】また、請求項14にかかる半導体レーザモジュールは、請求項1~13のいずれか一つに記載の半導体レーザ装置と、前記半導体レーザ装置から出射されたレーザ光を外部に導波する光ファイバと、前記半導体レーザ装置と前記光ファイバと光結合を行う光結合レンズ系とを備えたことを特徴とする。

30 【0027】また、請求項15にかかる半導体レーザモジュールは、上記の発明において、前記半導体レーザ装置の温度を制御する温度制御装置と、前記光結合レンズ系内に配置され、光ファイバ側からの反射戻り光の入射を抑制するアイソレータとをさらに備えたことを特徴とする。

【0028】また、請求項16にかかる半導体レーザモジュールは、前記光ファイバの半導体レーザ側端面は、光出射方向に対して斜めになるよう形成されていることを特徴とする。

40 【0029】また、請求項17にかかる光ファイバ増幅器は、請求項1~13のいずれか一つに記載の半導体レーザ装置若しくは請求項14~16のいずれか一つに記載の半導体レーザモジュールを備えた励起光源と、信号光を伝送する光ファイバと、該光ファイバと接続された増幅用光ファイバと、前記励起光源から出射される励起光を増幅用光ファイバに入射させるためのカプラと、前記励起光源と前記カプラとを接続する励起光伝送用光ファイバとを備えたことを特徴とする。

【0030】また、請求項18にかかる光ファイバ増幅器は、上記の発明において、前記増幅用光ファイバは、

ラマン増幅により光を増幅することを特徴とする。

【0031】また、請求項19にかかる光ファイバ増幅器は、上記の発明において、前記増幅用光ファイバは、エルビウム添加光ファイバであって、前記励起光源と前記増幅用光ファイバとは遠隔に配置されることを特徴とする。

【0032】また、請求項20にかかる半導体レーザ装置の選別方法は、複数の発振縦モードを有する光を選択する回折格子を備えた半導体レーザ装置の選別方法であって、設計温度範囲、設計注入電流範囲において、発振縦モードの最大光強度に対する差分値が10dB以下となる発振縦モードの本数を測定するモード本数測定工程と、該発振縦モードの本数に基づいて半導体レーザ装置の用途を選別する選別工程とを含むことを特徴とする。

【0033】この請求項20にかかる発明によれば、発振縦モードの最大光強度に対する差分値が10dB以下との発振縦モードの本数と誘導ブリルアン散乱の発生の有無とは相関関係を有するため、該発振縦モードの本数を測定することで、誘導ブリルアン散乱を発生することのない半導体レーザ装置の用途を選別することができる。

【0034】また、請求項21にかかる半導体レーザ装置の選別方法は、上記の発明において、前記選別工程において、前記発振縦モードの本数が10本以上の場合に半導体レーザ装置の用途を、光損失を3dB以上有する光ファイバ増幅器の励起光源とすることを特徴とする。

【0035】また、請求項22にかかる半導体レーザ装置の選別方法は、上記の発明において、前記選別工程において、前記発振縦モードの本数が18本以上の場合に半導体レーザ装置の用途を光ファイバ増幅器の励起光源とすることを特徴とする。

【0036】また、請求項23にかかる半導体レーザ装置の選別方法は、上記の発明において、前記設計温度範囲、前記設計注入電流範囲において、前記発振縦モードの本数が10本未満の温度範囲若しくは注入電流範囲が存在する場合に、前記半導体レーザ装置の使用温度および使用注入電流範囲を前記発振縦モードの本数が10本以上となる範囲に限定する使用範囲決定工程をさらに有することを特徴とする。

【0037】また、請求項24にかかる半導体レーザ装置の選別方法は、複数の発振縦モードを有する光を選択する回折格子を備えた半導体レーザ装置の選別方法であって、設計温度範囲、設計注入電流範囲において、前記複数の発振縦モードによって形成される発振波長スペクトルの-20dBのスライスレベルにおけるRMS法のスペクトル幅を測定するスペクトル幅測定工程と、該スペクトル幅に基づいて半導体レーザ装置の用途を選別する選別工程とを含むことを特徴とする。

【0038】この請求項24にかかる発明によれば、発振波長スペクトルのRMS法のスペクトル幅と、誘導ブリルアン散乱の発生の有無とは相関関係を有するため、

RMS法によるスペクトル幅を測定することで、誘導ブリルアン散乱を発生することのない半導体レーザ装置の用途を選別することができる。

【0039】

【発明の実施の形態】以下に図面を参照して、本発明にかかる半導体レーザ装置、半導体レーザモジュールおよび光ファイバ増幅器の好適な実施の形態について説明する。図面の記載において同一または類似部分には同一あるいは類似な符号を付している。ただし、図面は模式的なものであり、層の厚みと幅との関係、各層の厚みの比率などは現実のものとは異なることに留意する必要がある。また、図面の相互間においても互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれていることはもちろんである。

【0040】(実施の形態1) 実施の形態1にかかる半導体レーザ装置について説明する。図1は、本実施の形態1にかかる半導体レーザ装置の概略斜視図を示し、図2は、本実施の形態1にかかる半導体レーザ装置の側面断面図を示す。

【0041】まず、図1および図2を適宜参照して実施の形態1にかかる半導体レーザ装置の構造を説明する。

本実施の形態1にかかる半導体レーザ装置は、n-InP基板1上に順次n-InPバッファ層2、GRIN-SCHEMQW (Graded Index-Separate Confinement Hetero structure Multi Quantum Well: 分布屈折率分離閉じこめ多重量子井戸) 活性層3、p-InPスペーサ層4が積層されている。ここで、n-InPバッファ層2の上部領域、GRIN-SCHEMQW活性層3およびp-InPスペーサ層4は光出射方向に長手方向

を有するメサストライプ状の構造となっており、この構造に隣接してp-InPブロッキング層8、n-InPブロッキング層9が順に積層されている。p-InPスペーサ層4およびn-InPブロッキング層9上にはp-InPクラッド層6、p-GaInAsPコンタクト層7が積層されている。また、p-GaInAsPコンタクト層7上にはp側電極10が配置され、n-InP基板1の裏面にはn側電極11が配置されている。さらに、図2で示すように、レーザ光出射端面に出射側反射膜15が配置され、レーザ光出射端面と対向する反射端面に反射側反射膜14が配置されている。そして、p-InPスペーサ層4内には、回折格子13が配置されている。

【0042】n-InPバッファ層2は、バッファ層としての機能の他に、クラッド層としての機能を有する。具体的には、n-InPバッファ層2は、GRIN-SCHEMQW活性層3の実効屈折率よりも低い屈折率を有することでGRIN-SCHEMQW活性層3から発生する光を縦方向に閉じ込める機能を有する。

【0043】GRIN-SCHEMQW活性層3は、分布屈折率分離閉じこめ多重量子井戸構造を有し、p側電

極10およびn側電極11から注入されたキャリアを効果的に閉じ込める機能を有する。GRIN-SCH-MQW活性層3は複数の量子井戸層を有し、各量子井戸層において量子閉じ込め効果を発揮する。この量子閉じ込め効果によって、本実施の形態1にかかる半導体レーザ装置は高い発光効率を有する。

【0044】p-GaInAsPコンタクト層7は、p-InPクラッド層6とp側電極10との間をオーミック接合させるためのものである。p-GaInAsPコンタクト層7にはp型不純物が大量にドープされており、高不純物密度を有することでp側電極10との間でオーミック接触を実現している。

【0045】p-InPブロッキング層8およびn-InPブロッキング層9は、注入された電流を内部で狭窄するためのものである。本実施の形態1にかかる半導体レーザ装置においては、p側電極10が陽極として機能するため、電圧が印加された際にはn-InPブロッキング層9とp-InPブロッキング層8との間には逆バイアスが印加される。そのため、n-InPブロッキング層9からp-InPブロッキング層8に対して電流が流れることはなく、p側電極10から注入された電流は、狭窄されて高い密度でGRIN-SCH-MQW活性層3に流入する。電流が高密度で流入することで、GRIN-SCH-MQW活性層3におけるキャリア密度が高まり、発光効率を向上させていく。

【0046】反射側反射膜14は、反射率80パーセント以上、好ましくは98パーセント以上の光反射率を有する。一方、出射側反射膜15は、出射側端面におけるレーザ光の反射を防止するためのものである。したがって、出射側反射膜15は反射率の低い膜構造からなり、光反射率は5パーセント以下、望ましくは1パーセント程度の膜構造からなる。ただし、出射側反射膜15の光反射率は、共振器長に応じて最適化されるため、これら以外の値となる場合もある。

【0047】回折格子13は、p-GaInAsPからなる。周囲のp-InPスペーサ層4と異なる半導体材料から構成されるため、GRIN-SCH-MQW活性層3から発生した光のうち、所定波長を有する成分については回折格子13によって反射されることとなる。この回折格子13の存在により、本実施の形態1にかかる半導体レーザ装置は出射するレーザ光が複数の発振縦モードを有する。そして、本実施の形態1にかかる半導体レーザ装置は、発振縦モードに関して、最大の光強度を有する発振縦モードとの光強度の差分値が10dB以内となる発振縦モードの本数が10本以上、より好ましくは18本以上となるよう構成されている。または、複数の発振縦モードによって形成される発振波長スペクトルのRMS (Root Mean Square) 法のスペクトル幅が0.7nm以上、より好ましくは1.0nm以上となるよう構成されている。以下、回折格子の構造について詳説

し、発振縦モードについて上記条件を満たすことによる利点について説明する。

【0048】回折格子13は、たとえば、膜厚20nmを有し、出射側反射膜15の反射端面から反射側反射膜14側に向けて長さLg=50μmの回折格子13が設けられ、この回折格子13は、ピッチ約220nmで周期的に形成され、中心波長1.48μmのレーザ光を波長選択する。ここで、回折格子13は、回折格子の結合係数κと回折格子長Lgとの乗算値を0.3以下とすることによって、駆動電流-光出力特性の線形性を良好にし、光出力の安定性を高めている(特願2001-134545参照)。また、共振器長Lが1300μmの場合、回折格子長Lgが約300μm以下のときに複数の発振縦モードで発振するので、回折格子長Lgは300μm以下とすることが好ましい。ところで、共振器長Lの長短に比例して、発振縦モード間隔も変化するため、回折格子長Lgは、共振器長Lに比例した値となる。すなわち、(回折格子長Lg):(共振器長L)=300:1300の関係を維持するため、回折格子長Lgが300μm以下で複数の発振縦モードが得られる関係は、 $Lg \times (1300(\mu m)/L) \leq 300(\mu m)$ として拡張することができる。すなわち、回折格子長Lgは、共振器長Lとの比を保つように設定され、共振器長Lの(300/1300)倍の値以下としている(特願2001-134545参照)。

【0049】つぎに、回折格子13を備えたことにより、本実施の形態1にかかる半導体レーザ装置がレーザ発振時に複数の発振縦モードを有する光を選択する理由について説明する。なお、本実施の形態1にかかる半導体レーザ装置の発振波長λ₀は、1100nm~1550nmであり、共振器長Lは、800μm以上3200μm以下としている。

【0050】一般に、半導体レーザ装置の共振器によって発生する縦モードのモード間隔Δλは、実効屈折率を「n」とすると、次式で表すことができる。すなわち、 $\Delta\lambda = \lambda_0^2 / (2 \cdot n \cdot L) \dots (1)$ である。ここで、発振波長λ₀を1480μmとし、実効屈折率nを3.5とすると、共振器長Lが800μmのとき、縦モードのモード間隔Δλは、約0.39nmとなり、共振器長が3200μmのとき、縦モードのモード間隔Δλは、約0.1nmとなる。すなわち、共振器長Lを長くすればするほど、縦モードのモード間隔Δλは狭くなり、単一発振縦モードのレーザ光を発振するための選択条件が厳しくなる。

【0051】一方、回折格子13は、そのプラグ波長によって縦モードを選択する。この回折格子13による選択波長特性は、図3に示す発振波長スペクトル16として表される。なお、ここでは後述する波長差Δλcに起因する発振波長スペクトルの変化については考慮せず、回折格子13の存在による複数の発振縦モードの存

在についてのみ示している。

【0052】図3に示すように、この実施の形態1では、回折格子13を有した半導体レーザ装置による発振波長スペクトル16の半値幅 $\Delta\lambda_h$ で示される波長選択特性内に、発振縦モードを複数存在させるようにしている。従来のDBR (Distributed Bragg Reflector) 半導体レーザ装置あるいはDFB (Distributed Feedbac k) 半導体レーザ装置では、共振器長Lを800μm以上とすると、単一発振縦モード発振が困難であったため、かかる共振器長Lを有した半導体レーザ装置は用いられなかつた。しかしながら、この実施の形態1の半導体レーザ装置では、共振器長Lを積極的に800μm以上とすることによって、発振波長スペクトル16の半値幅 $\Delta\lambda_h$ 内に多数の発振縦モードを含ませてレーザ発振するようにしている。

【0053】つぎに、回折格子13によって選択される発振縦モードについて、最大光強度との差分値が10dB以下である発振縦モードの本数と、発振波長スペクトル16のRMS法によるスペクトル幅 $\Delta\lambda_{rms}$ がどのようにして決定されるかについて説明する。基本的には、最大光強度との差分値が10dB以下である発振縦モードの本数と、RMS法のスペクトル幅 $\Delta\lambda_{rms}$ は主として回折格子13の構造によって決定される。

【0054】まず、回折格子13の回折格子長Lgあるいは結合係数κを変化させる構造が挙げられる。一般に、回折格子長Lgが減少するにつれて、発振波長スペクトルの半値幅 $\Delta\lambda_h$ は広くなり、スペクトル幅 $\Delta\lambda_{rms}$ も増大する。そして、最大光強度との差分値が10dB以下である発振縦モードの本数も増大する。所望の発振縦モードを選択するためには、結合係数κと回折格子長Lgとの積 $\kappa \cdot L_g$ は一定以上の値を有する必要があるものの、その条件下で回折格子長Lgの値を減少させることで、発振縦モードの本数を増大させ、スペクトル幅 $\Delta\lambda_{rms}$ を広くすることができる。

【0055】また、回折格子13のグレーティング周期を変化させることも有効である。図4は、回折格子13のグレーティング周期を周期的に変化させたチャープドグレーティングを用いた例について示す。これによって、回折格子の波長選択特性に揺らぎを発生させ、発振波長スペクトルの半値幅 $\Delta\lambda_h$ を広げて、ひいてはスペクトル幅 $\Delta\lambda_{rms}$ を拡大させることが可能である。そして、発振波長スペクトル内において最大光強度との差分値が10dB以下である発振縦モードの本数を増大させている。すなわち、図5に示すように、半値幅 $\Delta\lambda_h$ を半値幅w_cに広げることでスペクトル幅 $\Delta\lambda_{rms}$ も拡大し、発振縦モードの本数を増大するようにしている。

【0056】図4に示すように、回折格子13は、平均周期が220nmであり、±0.02nmの周期揺らぎ(偏差)を周期Cで繰り返す構造を有している。この±0.02nmの周期揺らぎによって回折格子13の反射

帯域は、約2nmの半値幅を有し、これによって、最大光強度との差分値が10dB以下である発振縦モードの本数を増大させることができる。

【0057】また、図4の例では、一定の周期Cでグレーティング周期を変化させるチャープドグレーティングとしたが、これに限らず、グレーティング周期を、周期 Λ_1 (220nm+0.02nm) と周期 Λ_2 (220nm-0.02nm) との間で、ランダムに変化させようとしてもよい。

10 【0058】さらに、図6(a)に示すように、周期 Λ_1 と周期 Λ_2 とを1回ずつ交互に繰り返す回折格子として、周期揺らぎを持たせるようにしてもよい。また、図6(b)に示すように、周期 Λ_3 と周期 Λ_4 とをそれぞれ複数回、交互に繰り返す回折格子として、周期揺らぎを持たせるようにしてもよい。さらに、図6(c)に示すように、連続する複数回の周期 Λ_5 と連続する複数回の周期 Λ_6 とをもつ回折格子として、周期揺らぎを持たせるようにしてもよい。また、周期 Λ_1 、 Λ_3 、 Λ_5 と周期 Λ_2 、 Λ_4 、 Λ_6 との間の離散的な異なる値をもつ周期をそれぞれ補完して配置するようにしてもよい。

20 【0059】このように回折格子13の構造等を調整することで最大光強度との差分値が10dB以下である発振縦モードの本数および複数の発振縦モードによって形成される発振波長スペクトルのRMS法によるスペクトル幅 $\Delta\lambda_{rms}$ の値を変化させることができる。図7～図9は、実際に回折格子13の構造等を調整して発振縦モードの数およびスペクトル幅 $\Delta\lambda_{rms}$ の値を変化させた半導体レーザ装置の発振波形を示すグラフである。図7においては、最大光強度を有する発振縦モードが1455.5nm付近に存在し、その光強度は-16dB程度である。そして、最大光強度との差分値が10dB以下、すなわち図7のグラフにおいて約-26dB以上の光強度を有する発振縦モードの本数は14本となる。

30 【0060】図8は、回折格子13が図7とは異なる構造を有する半導体レーザ装置の発振波形を示すグラフである。最大光強度を有する発振縦モードは1459.5nm付近に存在し、その光強度は約-18dBである。そして、最大光強度との差分値が10dB以下、すなわち図8のグラフにおいて約-28dB以上の光強度を有する発振縦モードの本数は20本となる。

40 【0061】なお、比較例として図9に10本未満の発振縦モードを有する半導体レーザ装置の発振波形を示す。図9において最大光強度を有する発振縦モードは1429nm付近に存在し、その光強度は約-10dBである。したがって、最大光強度との差分値が10dB以下、すなわち図9のグラフにおいて-20dB以上の光強度を有する発振縦モードの本数は6本となる。

50 【0062】つぎに、誘導ブリルアン散乱が生じる条件について説明する。図10は、誘導ブリルアン散乱の発生の程度を検出するための測定装置の構造を示す模式図

である。この測定装置では、カプラ21を介して一方に半導体レーザ装置22と反射光測定手段23が配置され、他方に伝送用光ファイバ24と入力光測定手段25が配置されている。また、一方と他方はカプラ21を介して互いに接続されており、伝送用光ファイバ24は、出力光測定手段26に接続されている。なお、伝送用光ファイバ24には、DSF(Dispersion Shifted Fiber)を用いており、伝送用光ファイバ24の長さは55km、コア径は10μmである。

【0063】図10に示す測定装置において、入力光測定手段25には半導体レーザ装置から出力されるレーザ光の強度と一定の比率を有する光が入射し、反射光測定手段23には伝送用光ファイバ24で散乱されて戻ってきた光の強度と一定の比率を有する光が入射する。

【0064】ここで、誘導ブリルアン散乱が生じている場合、反射光測定手段23に入射する光の強度が増大する。そのため、半導体レーザ装置22から伝送用光ファイバ24に入射される光と、伝送用光ファイバ24で散乱されて戻ってきた光の強度との比(以下、「散乱強度比」と言う)をとることで誘導ブリルアン散乱が生じているか否かの判断ができる。一般に、光通信における励起光源として半導体レーザ装置を使用する場合には、散乱強度比が-28dB程度の値に抑制できれば、レイリー散乱によるバックグラウンドレベルと考えられ、誘導ブリルアン散乱が発生しておらず、励起光源としての使用に支障がないとされている。

【0065】なお、図10の測定装置による測定によって散乱強度比が-28dB以上の値を有する場合であっても励起光源としての使用が可能となる場合がある。図11は、別の半導体レーザ装置について、図10の測定装置を用いて伝送用光ファイバ24に入射させる光強度を変化させた場合の散乱強度比を測定したグラフである。具体的には、半導体レーザ装置22とカプラ21との間に光強度を変化させる機能を有するアッテネータを配置し、注入電流を一定に維持してアッテネータによって光強度を変化させ、各光強度における散乱強度比を測定している。この場合は、モード本数等のスペクトル形状を変化させることなく光出力を減衰することができる。

【0066】図11のグラフにおいて、散乱強度が約-13dBの場合を基準とすると、光強度を3dB程度低下、すなわち光強度を80mWから40mWに低下させることによって散乱強度比が約-13dBから約-29dBにまで低下する。すなわち、図10の測定装置において散乱強度比が-13dB程度の半導体レーザ装置は、光出力を3dB程度低下させることで、散乱強度比が誘導ブリルアン散乱を生じることのない-29dB程度にまで抑制されることが分かる。

【0067】半導体レーザ装置を励起光源として光ファイバ增幅器に組み込んだ場合には、励起光が増幅用光フ

アイバに到達するまでに光強度が数dB低下することが知られている。光ファイバ増幅器において、励起光源と増幅用光ファイバとの間に光を合波するためのカプラや、戻り光を遮蔽するためのアイソレータ等が配置されるのが通常であり、これらの光学系部品によって励起光の強度が低下するためである。そして、光ファイバ増幅器の構造によっては、光強度が3dB以上低下するもの多く存在し、その場合には、散乱強度比が-13dB程度の半導体レーザ装置であっても誘導ブリルアン散乱を抑制することができる。

【0068】したがって、誘導ブリルアン散乱を完全に抑制する観点からは散乱強度比が-28dB以下となることが望ましいが、3dB程度の光損失が生じる光ファイバ増幅器においては、散乱強度比が-13dB程度であっても励起光源として使用することができる。

【0069】つぎに、発振縦モードの最大光強度に対する差分値が10dB以下となる発振縦モードの本数および発振波長スペクトルのRMS法のスペクトル幅と、誘導ブリルアン散乱との相関関係を調べ、本実施の形態1にかかる半導体レーザ装置が誘導ブリルアン散乱の発生を抑制できることを示す。具体的には、図10の測定装置を用いて複数の半導体レーザ装置について散乱強度比の測定をおこなっている。

【0070】まず、発振縦モードの最大光強度に対する差分値が10dB以下となる発振縦モードの本数と誘導ブリルアン散乱との相関関係を調べた。図12は、発振縦モードの最大光強度に対する差分値が10dB以下である発振縦モードの本数が相違する、複数の半導体レーザ装置について、散乱強度比について測定をおこなった結果を示すグラフである。ここで、測定対象は、回折格子13等の発振縦モードの本数に関係する部分以外の構造について同一構造を有する複数の半導体レーザ装置とし、すべての半導体レーザ装置について温度を25°Cに維持し、注入電流の値を300mAに維持して測定をおこなっている。すなわち、最大光強度に対する差分値が10dB以下である発振縦モードの本数以外については同一の条件下で測定をおこなっている。なお、比較のために最大光強度との差分値が10dB以下である発振縦モードの本数が10本未満の半導体レーザ装置についても測定をおこない、結果を図12に示している。

【0071】図12に示すように、最大光強度との差分値が10dB以下である発振縦モードの本数と散乱強度比とは明らかな相関関係を有し、発振縦モードの本数が増加するにしたがって散乱強度比は低下する。特に、発振縦モードの本数がだいたい10本以上では散乱強度比が-15dB以下になり、19本では散乱強度比が約-29dBとなる。したがって、発振縦モードの本数が10本以上の場合、3dB以上の光損失を有する光ファイバ増幅器に励起光源として組み込むことで誘導ブリルアン散乱の抑制が可能である。また、発振縦モードの本数

が19本以上の場合、光損失が微小なものを含むあらゆる光ファイバ増幅器に励起光源として組み込むことで誘導ブリルアン散乱の抑制が可能である。

【0072】つぎに、図13に示すように、注入電流の値を変化させた場合に関して散乱強度比の測定をおこなった。ここで、測定対象の半導体レーザ装置は図12に示した測定の際と同一のものを使用し、注入電流については100mA、300mA、500mA、700mA、900mAのそれぞれの値に変化させて測定をおこなった。なお、同一の半導体レーザ装置について発振縦モードの本数が変化しているのは注入電流値の影響によるものである。全体的な傾向として最大光強度との差分値が10dB以下である発振縦モードの本数が10本以上の場合に、散乱強度比は-13dB以下に抑制されていることが示されている。また、最大光強度との差分値が10dB以下である発振縦モードの本数が18本以上の場合、散乱強度比は-28dB以下に抑制されていることが示されている。このことは注入電流の値に関係なく成立している。したがって、散乱強度比は注入電流の値には直接影響されず、最大光強度との差分値が10dB以下である発振縦モードの本数によって決定されていることが分かる。なお、一般に注入電流値が変化することによって発振縦モードの本数等のスペクトル形状が変化し、半導体レーザ装置の光出力強度も変化するが、図13の結果は、光出力強度の変化とは無関係に、最大光強度との差分値が10dB以下である発振縦モードの本数のみによって散乱強度比が決定されることも示している。

【0073】さらに、複数の半導体レーザ装置A～Gについて、半導体レーザ装置の温度を変化させて散乱強度比の測定をおこなった。なお、半導体レーザ装置の温度はそれぞれ5℃、15℃、25℃、35℃、45℃に変化させた上で測定をおこなっている。図14は、本測定における最大光強度との差分値が10dB以下である発振縦モードの本数と散乱強度比との関係を示すグラフである。なお、同一半導体レーザ装置について発振縦モードの本数が変化しているのは温度変化の影響によるものである。半導体レーザ装置の温度は発振縦モードの本数に影響を与えるものの、散乱強度比との直接的な関係においては温度変化による影響はほとんどない。具体的には、いずれの温度であっても最大光強度との差分値が10dB以下である発振縦モードの本数が10本以上であれば散乱強度比は-13dBよりも低い値となり、発振縦モードの本数が18本以上であれば散乱強度比は-28dB以下の値となる。

【0074】図12～図14の測定結果より、複数の発*

$$f_0(x) = 0.026757x^3 - 0.2317929 \dots \quad (2)$$

と表されることが示されている。

【0078】また、図16は、発振縦モードの本数と発

*振縦モードを有する光を選択する回折格子13を備えた半導体レーザ装置において、散乱強度比は発振縦モードの本数と強い相関関係を有し、注入電流値、光出力強度、半導体レーザ装置の温度とはほぼ無関係となることが明らかである。そして、最大光強度との差分値が10dB以下である発振縦モードの本数に関して、10本以上の場合には散乱強度比は-13dB以下に抑制され、18本以上の場合、散乱強度比は-28dB以下に抑制される。したがって、発振縦モードの本数が10本以上であれば、3dB程度の光損失を有する光ファイバ増幅器に励起光源として組み込むことが可能であり、18本以上であれば、あらゆる光ファイバ増幅器に組み込むことが可能である。

【0075】また、図12～図14の測定結果より、最大光強度との差分値が10dB以下となるような比較的強度の低いモードを含む発振縦モードの本数が誘導ブリルアン散乱の発生の有無に影響を与えていることが分かる。本願発明者等は、比較的強度の低い発振縦モードの本数の増加が最大光強度付近の発振縦モードの線幅を増大させ、これにより各発振縦モードの強度が低下することで誘導ブリルアン散乱の発生を抑制しているものと推測している。

【0076】つぎに、本願発明者等は、最大光強度との差分値が10dB以下となる発振縦モードの本数と、伝送用光ファイバ24内部において誘導ブリルアン散乱が発生する光強度の閾値との関係を調べた。図15は、DSFによって形成された伝送用光ファイバ24に発振縦モードの本数が異なるレーザ光を入射した場合における誘導ブリルアン散乱の発生閾値を示すグラフである。なお、図15～図19の例におけるDSFは直径7.72μm、ファイバ長が55km、伝送ロスが0.21dB/km、分散は-0.07ps/km/nmである。また、DSFの実効断面積は46.8μm²であって、実効長は43.2kmである。さらに、伝送させるレーザ光の波長を1550nmとし、上記の特性はかかる波長におけるものである。また、図15～図19に示す例において、発振縦モードの本数（以下、必要に応じて「モード本数」と称する）とは、発振縦モードの最大光強度に対する差分値が10dB以下となる発振縦モードの本数のこととする。

【0077】図15に示すように、誘導ブリルアン散乱の発生閾値は、モード本数の増加につれて増大し、特にモード本数が12本以上となると閾値の上昇が顕著となる。なお、実測された値に基づいてフィッティングを行ったところ、モード本数をx、誘導ブリルアン散乱の発生閾値 f₀(x) は、

602546x^2 + 4.006463x

振されるレーザ光の全体強度に対する最大光強度の割合との関係を示すグラフである。発振縦モードが複数存在

する場合、レーザ光の全体強度は各発振縦モードに分配されることから、発振縦モードが単数の場合に比べて発振縦モード1本あたりの強度は低下する。従って、図16に示すように全体強度に対する最大光強度の割合は、発振縦モードの本数の増加につれて減少する。なお、図

15～図19に示す例において、「全体強度」とは、発*

$$g(x) = -0.00021418x^3 + 0.01097028x^2 - 0.185 \\ 33490x + 1.17019287 \quad \dots (3)$$

となる。

【0079】図15および図16に示した測定結果より、誘導ブリルアン散乱を避けつつ高強度のレーザ光を伝送用光ファイバ24中で伝送可能となる発振縦モードの本数を導出することが可能となる。図17は、図15に示した曲線と、図16に示した曲線にレーザ光の全体強度を乗算した曲線とを示すグラフである。なお、図17において曲線 l_1 は図15に示した曲線と同一の曲線であって、発振縦モードの本数と誘導ブリルアン散乱の発生閾値との関係を示すものである。また、曲線 l_2 、 l_3 は、それぞれ発振縦モードの本数と発振縦モードの最大光強度との関係を示すものであって、曲線 l_2 は全体強度が200mW、曲線 l_3 は全体強度が100mWの場合の曲線を示す。具体的には、曲線 l_2 、 l_3 は図16のグラフで示す曲線 $g(x)$ にそれぞれ200mW、100mWを乗算したものである。

【0080】伝送用光ファイバ24中における誘導ブリルアン散乱の発生を抑制するためには、レーザ光を構成する発振縦モードのすべてが発生閾値を下回れば良い。従って、図17において、曲線 l_2 、 l_3 の値が曲線 l_1 の値を下回る範囲のモード本数のレーザ光を用いることで、伝送用光ファイバ24中で誘導ブリルアン散乱が発生することを防止する事が可能である。すなわち、伝送用光ファイバ24がDSFによって構成される場合、全体強度 P_{total} を用いて、

$$f_0(x) \geq g(x) \times P_{total} \quad \dots (4)$$

$$f(x) = \{ (A_{eff} / L_{eff}) / (A_{eff0} / L_{eff0}) \} \times f_0(x) \quad \dots (5)$$

で表すことが可能である。そして、DSFと異なる光ファイバの場合には、かかる $f(x)$ を用いて、

$$f(x) \geq g(x) \times P_{total} \quad \dots (6)$$

を満たすモード本数($=x$)となるレーザ光であれば、誘導ブリルアン散乱の発生を防止することができる。なお、(5)式における光ファイバの実効長 L_{eff} は、ファイバ損失 α を用いて、

$$L_{eff} = \alpha / \{ 1 - e^{xp} (-\alpha L) \} \quad \dots (7)$$

と表される。ここで、Lは光ファイバの実際の長さである。また、ファイバ損失 α は、ファイバに対するレーザ光の入力強度 P_{in} と出力強度 P_{out} を用いて

$$\alpha = 10g, (P_{out} / P_{in}) \quad \dots (8)$$

で表される。なお、(7)式および(8)式における α の単位はNeperr(1Neperr=4.34dB)で

* 振縦モードの最大光強度に対する差分値が10dB以下となるすべての発振縦モードの光強度の和のことを言う。実測された値に基づいてフィッティングを行ったところ、モード本数を x 、全体強度に対する最大光強度の割合 $g(x)$ は、

$$g(x) = -0.00021418x^3 + 0.01097028x^2 - 0.185 \\ 33490x + 1.17019287 \quad \dots (3)$$

※が成立するよう発振縦モードの本数($=x$)を選択することで、伝送用光ファイバ24中で誘導ブリルアン散乱が発生することを防止できる。具体的には、曲線 l_2 、すなわち全体強度が200mWのレーザ光の場合、レーザ光の発振縦モードの本数が18本以上となる場合に誘導ブリルアン散乱の発生を防止することができる。また、曲線 l_2 、すなわち全体強度が100mWの場合には、モード本数が16本以上であれば誘導ブリルアン散乱の発生を防止できる。なお、図示は省略したが全体強度が150mWの場合にも同様の手法を用いてモード本数を導出することが可能で、かかる場合にはモード本数が17本以上であれば(4)式を満たし、誘導ブリルアン散乱の発生を防止することができる。

【0081】つぎに、伝送用光ファイバ24としてDSF以外の光ファイバを使用した場合における誘導ブリルアン散乱の発生を抑制するモード本数の条件について説明する。本願発明者等は、伝送用光ファイバ24を構成する光ファイバの実効断面積と実効長とが誘導ブリルアン散乱の発生閾値に影響を与えることを見いだしている。具体的には、(2)式に示すDSFに関するモード本数と誘導ブリルアン散乱の発生閾値との関係 $f(x)$ を既知とした場合に、任意の光ファイバにおける関係式 $f(x)$ は、任意の光ファイバの実効断面積 A_{eff} 、実効長 L_{eff} 、DSFの実効断面積 A_{eff0} 、実効長 L_{eff0} を用いて

$$f(x) = \{ (A_{eff} / L_{eff}) / (A_{eff0} / L_{eff0}) \} \times f_0(x) \quad \dots (7)$$

表されるものとする。ここで、DSFにおける A_{eff0} は $46.8 \mu m^2$ 、 L_{eff0} は $43.2 km$ である。かかる値に加え、(7)式および(8)式を使って導出した実効長 L_{eff} と、実効断面積 A_{eff} とを(5)式に代入することで任意の光ファイバにおける誘導ブリルアン散乱の発生閾値とモード本数との関係を導出することが可能である。

【0082】図18および図19は、DSFとは異なる実効断面積および実効長を有する光ファイバを伝送用光ファイバ24として使用した場合に、誘導ブリルアン散乱を発生することのない発振縦モード本数を導出するためのグラフである。具体的には、図18はレーザ光の全体強度が200mWの場合のグラフを示し、図19は全体強度が100mWの場合のグラフを示す。

【0083】図18において、曲線 l_4 はDSFと異なるファイバAに関する $f(x)$ のグラフであり、曲線 l_5 はDSFおよびファイバAと異なるファイバBに関する $f(x)$ のグラフである。また、曲線 l_6 は、 $g(x)$

に対して全体強度である200mWを乗算した結果のグラフを示している。なお、ファイバAの実効断面積は $20.0 \mu\text{m}^2$ 、実効長は43.2kmであり、ファイバBの実効断面積は $100.0 \mu\text{m}^2$ 、実効長は43.2kmである。曲線 l_4 および曲線 l_5 はかかる値を(5)式に代入することによって導出されている。

【0084】そして、図18において(6)式が成立するモード本数 x を導出し、かかるモード本数のレーザ光を出射する半導体レーザ装置を実現することによって、誘導ブリルアン散乱の発生を抑制することが可能である。具体的には、ファイバA(曲線 l_4)では発振縦モードの本数が21本以上であれば、誘導ブリルアン散乱の発生を防止でき、ファイバBでは16本以上であれば誘導ブリルアン散乱の発生を抑制することが可能である。

【0085】また、図19に示すように、全体強度が100mWの場合には、200mWの場合よりも少ないモード本数で誘導ブリルアン散乱の発生を防止することができる。図19において、曲線 l_4 および曲線 l_5 は、図18における曲線と同一のものである。また、曲線 l_7 は、 $g(x)$ に対して全体強度 P_{total} の値である100mWを乗算した結果を示す。図19に示すように、ファイバA(曲線 l_4)の場合、発振縦モードの本数が19本以上であれば(6)式の条件を満たし、誘導ブリルアン散乱の発生を防止することができる。また、ファイバB(曲線 l_5)の場合、発振縦モードの本数が14本以上であれば誘導ブリルアン散乱の発生を防止することができる。なお、ファイバAおよびファイバBに関して、全体強度が150mWの場合にも同様の手法を用いてモード本数を導出することが可能で、ファイバAの場合は20本以上、ファイバBの場合には15本以上の発振縦モードを備えた場合に(4)式を満たし、誘導ブリルアン散乱の発生を防止することができる。

【0086】以上、図18および図19に示したよう

に、DSFと異なる光ファイバによって伝送用光ファイバ24を形成した場合であっても、実効断面積および実効長を(5)式に代入して $f(x)$ を導出することで、誘導ブリルアン散乱の発生を防止するモード本数を求めることができる。そして、かかるモード本数を有するレーザ光を選択するよう回折格子を形成することによって誘導ブリルアン散乱の発生を防止した半導体レーザ装置を実現することができる。なお、上記のファイバAおよびファイバB以外の光ファイバであっても同様の手法を用いることが可能である。例えば実効断面積が $15.0 \mu\text{m}^2$ 、実効長が43.2kmのファイバCを伝送用光ファイバ24に使用した場合は、全体強度($= P_{total}$)が200mWの場合はモード本数が22本以上の場合に誘導ブリルアン散乱の発生を防止することができる。同様に、全体強度が150mWの場合には21本以上、全体強度が100mWの場合には20本以上のモード本数を有する場合に伝送用光ファイバ24内部において誘導ブリルアン散乱が発生することを防止することができる。また、実効断面積が $9.0 \mu\text{m}^2$ 、実効長が43.2kmのファイバDの場合には、全体強度が200mWの場合のモード本数を24本、150mWの場合のモード本数を23本、100mWの場合のモード本数を22本とした場合に誘導ブリルアン散乱の発生を防止できることが示される。

【0087】なお、上記図15～図19の例では、 $f_0(x)$ 、 A_{eff0} および L_{eff0} はDSFにおける値としたが、DSF以外の光ファイバについての値を $f_0(x)$ 等として(5)式等を用いて好ましいモード本数を導出することとしても良い。また、上記の例ではDSFについて、実測値に基づいて $f_0(x)$ を導出しているが、他の光ファイバに関する実測値から(5)式を用いて導出することとしても良い。

【0088】上記のように得られた図15～図19に渡る測定結果を用いて、伝送用光ファイバ24に用いる光ファイバについて、全体強度に応じたモード本数について表1にまとめた。

【表1】

ファイバ種類	実効断面積 μm^2	レーザの全体強度 Pttotal mW	必要なモード本数 本	より好ましいモード本数 本
DSF-65km	46.8	200	10	18
DSF-55km	46.8	150	9	17
DSF-55km	46.8	100	8	16
ファイバA	20	200	13	21
ファイバA	20	150	12	20
ファイバA	20	100	11	19
ファイバB	100	200	8	16
ファイバB	100	150	7	15
ファイバB	100	100	6	14
ファイバC	15	200	14	22
ファイバC	15	150	13	21
ファイバC	15	100	12	20
ファイバD	9	200	16	24
ファイバD	9	150	15	23
ファイバD	9	100	14	22

【0089】なお、表1において、より好ましいモード本数とは、図15～図19で示したように、誘導ブリルアン散乱の発生を完全に防止できるモード本数のことであり、必要なモード本数とは、誘導ブリルアン散乱の発生を抑制し、図10に示したアッテネータと組み合わせること、あるいは伝送系のさまざまな伝送ロスと組み合わせることによって誘導ブリルアン散乱の発生を完全に防止できるモード本数のことである。

【0090】図20は、表1を利用して、異なる全体強度において誘導ブリルアン散乱の発生を抑制するために必要なモード本数を示すグラフである。図20において、曲線I₈は全体強度が200mWの場合において必要なモード本数と光ファイバの実効断面積との関係を示し、曲線I₉、I₁₀はそれぞれ150mW、100mWにおいて必要なモード本数と伝送する光ファイバの実効断面積との関係を示す曲線である。例えば、全体強度が200mWの場合には、曲線I₈よりも上に位置する領域に属するモード本数であれば、誘導ブリルアン散乱の発生を抑制することができ、図10に示したアッテネータと組み合わせること、あるいは伝送系のさまざまな伝送ロスと組み合わせることによって誘導ブリルアン散乱の発生を完全に防止することができる。

【0091】また、図21は、表1を利用して、異なる全体強度において誘導ブリルアン散乱の発生を防止する観点からより好ましいモード本数を示すグラフである。図21において、曲線I₁₁は全体強度が200mWの場合におけるより好ましいモード本数を示し、曲線I₁₂、I₁₃はそれぞれ150mW、100mWにおいて必要なモード本数と伝送する光ファイバの実効断面積との関係を示す曲線である。

【0092】つぎに、回折格子13によって選択された複数の発振縦モードによって形成される発振波長スペク

トルの-20dBのスライスレベルにおけるRMS法のスペクトル幅 $\Delta \lambda_{RMS}$ と散乱強度比との関係を調べた。ここで、-20dBのスライスレベルにおけるRMS法のスペクトル幅 $\Delta \lambda_{RMS}$ を用いたのは次の理由である。上記したように本願発明者等は、比較的強度の低い発振縦モードが強度の高い発振モードの線幅に影響を与え、ひいては誘導ブリルアン散乱の発生の有無に影響を与えると推測している。したがって、スペクトル幅についても、強度の低い発振縦モードに対応した、スライスレベルの低いものを用いる必要がある。そのため、スライスレベルが-20dB、すなわち最大光強度との比が-20dB以内の縦モード群についてRMS法によりスペクトル幅 $\Delta \lambda_{RMS}$ を求め、散乱強度比との関係を調べている。

【0093】図22は、測定によって得られたスペクトル幅 $\Delta \lambda_{RMS}$ と散乱強度比との関係を示すグラフである。ここで、測定対象については回折格子等発振縦モードに関する構造のみ変化させた複数の半導体レーザ装置を使用し、注入電流値および温度を変化させて測定している。

【0094】図22に示されるように、一般的な傾向としてスペクトル幅 $\Delta \lambda_{RMS}$ が増大するにしたがって、散乱強度比が低下することが分かる。特に、スペクトル幅 $\Delta \lambda_{RMS}$ が0.7nm以上の場合、散乱強度比が-13dB以下となり、スペクトル幅 $\Delta \lambda_{RMS}$ が1.0nm以上の場合、散乱強度比が-28dB以下となっている。したがって、スペクトル幅 $\Delta \lambda_{RMS}$ が0.7nm以上となる場合、3dB以上の光損失を有する通常の光ファイバ増幅器において励起光源として使用することが可能である。また、スペクトル幅 $\Delta \lambda_{RMS}$ が1.0nm以上となる場合、光損失が微小なものを含むあらゆる光ファイバ増幅器において励起光源として使用することが可能で

ある。

【0095】このように、散乱強度比と注入電流値および半導体レーザ装置の温度とは直接的にはほぼ無関係であり、最大光強度との差分値が10dB以下である発振縦モードの本数若しくはRMS法のスペクトル幅 $\Delta\lambda_{\text{RMS}}$ によって散乱強度比が決定される。したがって、本実施の形態1にかかる半導体レーザ装置は、発振縦モードの本数若しくはRMS法のスペクトル幅 $\Delta\lambda_{\text{RMS}}$ が上記した条件を満たす限り、任意の注入電流および温度条件下でレーザ発振をおこなう場合において誘導ブリルアン散乱の発生を抑制することができる。

【0096】なお、本実施の形態1にかかる半導体レーザ装置について、設計温度範囲および設計注入電流範囲全体に渡って発振縦モードの本数もしくはRMS法のスペクトル幅 $\Delta\lambda_{\text{RMS}}$ についての条件を満たすことが好ましい。設計温度範囲および設計注入電流範囲全体以外の温度範囲または電流範囲のみで条件を満たした場合でも、その温度範囲または電流範囲に限定して半導体レーザ装置を使用すれば誘導ブリルアン散乱の発生を抑制できる。すなわち、所定の温度範囲および電流範囲で条件を満たすすべての半導体レーザ装置について、本実施の形態1で説明した半導体レーザ装置と同等の作用効果を実現することができる。

【0097】また、半導体レーザ装置の構造について、導電型を逆にしても良いし、図1に示すようなBH構造のレーザではなく、リッジレーザやSAS(Self Aligned Structure: 自己整合構造)型レーザとしても良い。さらに、回折格子13の位置についてもGRIN-SC H-MQW活性層3の上部領域のみならず、下部領域でも良い。さらに、回折格子13は、レーザ発振時に光が分布する領域であれば原則としてどこでも配置可能である。また、回折格子13の水平方向の幅について、全面的にグレーティングを配置しても良いし、部分的に配置しても良い。さらに、活性層については必ずしもGRIN-SCH-MQW構造とする必要はなく、単純なダブルヘテロ構造としても良いし、ホモ接合レーザとしても良い。また、多重量子井戸構造とはせずに単一量子井戸を用いても良い。

【0098】(実施の形態2) つぎに、実施の形態2にかかる半導体レーザ装置の選別方法について説明する。実施の形態1においても説明したように、誘導ブリルアン散乱の発生を抑制するためには、複数の発振縦モードを選択する半導体レーザ装置において、発振縦モードの最大光強度に対する差分値が10dB以下となる発振縦モードの本数が所定数以上であるか、RMS法のスペクトル幅 $\Delta\lambda_{\text{RMS}}$ が所定値以上となればよい。そして、発振縦モードの本数およびスペクトル幅 $\Delta\lambda_{\text{RMS}}$ については、回折格子等半導体レーザ装置の構造によって主として決定される。したがって、理論的には所定の構造の半導体レーザ装置はすべて誘導ブリルアン散乱の発生を抑

制することが可能である。

【0099】しかし、現実には製造ばらつき等によって発振縦モードの本数およびスペクトル幅 $\Delta\lambda_{\text{RMS}}$ が設計通りの値とならない半導体レーザ装置が少数ながら存在する。このような半導体レーザ装置を励起光源として使用した場合、誘導ブリルアン散乱の発生を抑制することはできないため、本実施の形態2にかかる半導体レーザ装置の選別方法を用いて、励起光源として使用可能か否かを判定する。

【0100】本実施の形態2にかかる半導体レーザ装置の選別方法の具体的なプロセスについて説明する。図2-3は、実施の形態2にかかる半導体レーザ装置の選別方法を説明するフローチャートである。

【0101】まず、発振縦モードの本数の測定をおこなう(ステップS101)。具体的には、設計温度範囲、設計注入電流範囲においてレーザ発振をおこない、スペクトルアナライザー等によってレーザ光の波形を観測し、発振縦モードの最大光強度に対する差分値が10dB以下の発振縦モードの本数を計測する。

【0102】そして、ステップS101で計測した発振縦モードの本数について、10本以上か否かの判定をおこなう(ステップS102)。発振縦モードの本数が10本未満の場合、後述するステップS104に移行し、発振縦モードの本数が10本以上の場合、次のステップS103に移行する。

【0103】その後、ステップS101で計測した発振モードの本数が18本以上であるか否かの判定をおこなう(ステップS103)。発振縦モードの本数が18本以上である場合、実施の形態1で説明したように光損失の少ない任意の光ファイバ増幅器において励起光源として使用可能である。したがって、発振縦モードの本数が18本以上である半導体レーザ装置については、汎用品として選別される。

【0104】一方、ステップS103において発振縦モードの本数が18本未満であっても、ステップS102で発振縦モードの本数が10本以上と判定されている。したがって、実施の形態1でも説明したように、3dB以上の光損失を有する光ファイバ増幅器に使用することが可能である。そのため、18本未満と判定された半導体レーザ装置については、3dB以上の光損失を有する光ファイバ増幅器における励起光源用として選別される。また、ディーザ回路が付属したラマン増幅器(特願2001-369145参照)用や、光損失を有さないEDFA(ErbiumDoped Fiber Amplifier)用として選別することも可能である。

【0105】そして、ステップS102において、設計温度範囲、設計注入電流範囲において発振縦モードの本数が10本未満と判定された半導体レーザ装置について、発振縦モードの本数が10本以上となる温度範囲、電流範囲が存在するか否かを判定する(ステップS10

4)。図13および図14に示すように、発振縦モードの本数は注入電流値および温度によって影響を受ける。そのため、設計温度範囲および設計注入電流範囲の一部範囲において発振縦モードの本数が10本以上となる場合が存在し、その場合には一部範囲において光ファイバ増幅器の励起光源として使用することが可能である。したがって、ステップS104の条件を満たす場合、限定された温度範囲および注入電流範囲において光ファイバ増幅器の励起光源用として選別される。発振縦モードの本数が10本以上となる温度範囲および注入電流範囲が存在しない場合、誘導ブリルアン散乱の発生を抑制することができない。そのため、励起光源と增幅用光ファイバとの間隔が近い、すなわち、リモートポンプ以外のEDFを用いた光ファイバ増幅器等のように、誘導ブリルアン散乱の発生が問題とならない光ファイバ増幅器の励起光源用として選別される。または、3dBよりも大きく、誘導ブリルアン散乱を抑制できる程度の光損失を有する光ファイバ増幅器用に選別される。

【0106】(変形例)実施の形態2にかかる半導体レーザ装置の選別方法の変形例として、複数の発振モードによって形成される発振波長スペクトルについて、-20dBのスライスレベルにおけるRMS法のスペクトル幅 $\Delta\lambda_{\text{RMS}}$ によって半導体レーザ装置を選別する方法がある。図24は、変形例にかかる選別方法を説明するフローチャートである。

【0107】まず、測定対象となる半導体レーザ装置について、RMS法のスペクトル幅 $\Delta\lambda_{\text{RMS}}$ の測定をおこなう(ステップS201)。具体的には、設計温度範囲、設計注入電流範囲においてレーザ発振をおこない、スペクトルアナライザ等によってレーザ光の波形を観測し、RMS法のスペクトル幅 $\Delta\lambda_{\text{RMS}}$ を計測する。

【0108】そして、RMS法のスペクトル幅 $\Delta\lambda_{\text{RMS}}$ が0.7nm以上であるか否かを判定する(ステップS202)。スペクトル幅 $\Delta\lambda_{\text{RMS}}$ が0.7nm以上の場合は、ステップS203に移行し、設計温度範囲、設計注入電流範囲で0.7nm未満となる温度範囲または電流範囲が存在する場合、ステップS204に移行する。

【0109】その後、ステップS201で計測したRMS法のスペクトル幅 $\Delta\lambda_{\text{RMS}}$ が1.0nm以上であるか否かを判定する(ステップS203)。スペクトル幅 $\Delta\lambda_{\text{RMS}}$ が1.0nm以上である場合、実施の形態1でも説明したように誘導ブリルアン散乱の発生を十分抑制できるため、あらゆる光ファイバ増幅器の励起光源として使用可能であるため、汎用品として選別される。

【0110】一方、ステップS203においてスペクトル幅 $\Delta\lambda_{\text{RMS}}$ が1.0nm未満であっても、ステップS202においてスペクトル幅 $\Delta\lambda_{\text{RMS}}$ が0.7nm以上と判定されている。したがって、実施の形態1でも説明したように3dB以上の光損失を有する光ファイバ増幅器の励起光源として使用することが可能である。そのた

め、ステップS203でスペクトル幅 $\Delta\lambda_{\text{RMS}}$ が1.0nm未満と判定された半導体レーザ装置については、3dB以上の光損失を有するラマン増幅器の励起光源用として選別される。また、ディザーレーザ回路が付属したラマン増幅器用や、光損失を有さないEDFA(Erbium Doped Fiber Amplifier)用として選別することも可能である。

【0111】そして、ステップS202において、設計温度範囲、設計注入電流範囲においてRMS法のスペクトル幅 $\Delta\lambda_{\text{RMS}}$ が0.7nm未満となった場合、スペクトル幅 $\Delta\lambda_{\text{RMS}}$ が0.7nm以上となる温度範囲または電流範囲が存在するか否かを判定する(ステップS204)。設計温度範囲、設計注入電流範囲すべてにわたってスペクトル幅 $\Delta\lambda_{\text{RMS}}$ が0.7nm以上とならない場合でも、スペクトル幅 $\Delta\lambda_{\text{RMS}}$ が0.7nm以上となる温度範囲または電流範囲が存在すれば、その範囲に限定して励起光源としての使用が可能となるためである。スペクトル幅 $\Delta\lambda_{\text{RMS}}$ が0.7nm以上となる温度範囲または電流範囲が存在した場合、その範囲に限定した励起光源としての用途を有する半導体レーザ装置として選別される。また、0.7nm以上となる範囲が存在しない場合は、励起光源とEDFとの距離が近接した光ファイバ増幅装置の励起光源や、3dBよりも大きく、誘導ブリルアン散乱を抑制できる程度の光損失を有する光ファイバ増幅器用としての用途を有する半導体レーザとして選別される。

【0112】本実施の形態2および変形例にかかる半導体レーザ装置の選別方法によって半導体レーザ装置を選別することで以下の利点が存在する。製造ばらつき等に起因して発振縦モードの本数もしくはRMS法のスペクトル幅 $\Delta\lambda_{\text{RMS}}$ が変動する場合でも、上記方法を実施することで適切に選別することができる。実施の形態1でも説明したように、半導体レーザ装置が誘導ブリルアン散乱を発生するか否かは、半導体レーザ装置の温度や注入電流値には直接関係せず、発振縦モードの本数またはRMS法のスペクトル幅 $\Delta\lambda_{\text{RMS}}$ によって決定される。したがって、発振縦モードの本数またはRMS法のスペクトル幅 $\Delta\lambda_{\text{RMS}}$ を計測することで誘導ブリルアン散乱が発生する半導体レーザ装置と、発生しない半導体レーザ装置とを選別することが可能である。

【0113】また、発振縦モードの本数またはRMS法のスペクトル幅 $\Delta\lambda_{\text{RMS}}$ は、発振した光の波形を観測することで容易に計測することができる。そのため、半導体レーザ装置の選別に必要な測定装置の構造を単純化することができる。すなわち、図10で示すような複雑な測定装置は必要がないという利点を有する。

【0114】さらに、ステップS104またはステップS204において、誘導ブリルアン散乱を生じない温度範囲、電流範囲を判定することとしたため、設計温度範囲および設計注入電流範囲全体に渡って条件を満たさ

い半導体レーザ装置についても励起光源としての使用を可能とすることができます。すなわち、全範囲に渡って使用できない場合であっても、温度範囲、電流範囲を限定することで誘導ブリルアン散乱の発生を抑制することができ、励起光源として使用することが可能であるためである。

【0115】なお、変形例においてRMS法のスライスレベルを-20dBとしてスペクトル幅 $\Delta\lambda_{ms}$ の測定をおこなっているが、他のスライスレベルでスペクトル幅 $\Delta\lambda_{ms}$ を測定して半導体レーザ装置を選別しても良い。誘導ブリルアン散乱の発生の有無を考えるにあたって、低い強度の発振縦モードを反映したスペクトル幅であればよいのである。したがって、たとえばスライスレベルを-21dB、-22dB等とさらに低下させてスペクトル幅を測定しても良い。この場合、-20dBの場合と比較して選別の基準となるスペクトル幅はそれぞれ0.7nm、1.0nmよりも広くなる。また、低い強度の発振縦モードを反映できるならば-19dB、-18dB等としても良い。この場合には選別の基準となるスペクトル幅は0.7nm、1.0nmよりも狭くなる。スライスレベルを変更した場合の選別の基準となるスペクトル幅の決定は、図10に示した測定装置等を用いれば当業者は容易におこなうことができる。

【0116】(実施の形態3) つぎに、この発明の実施の形態3について説明する。この実施の形態3では、上述した実施の形態1で示した半導体レーザ装置をモジュール化したものである。

【0117】図25は、この発明の実施の形態3である半導体レーザモジュールの構成を示す側面断面図である。図25において、この半導体レーザモジュールは、上述した実施の形態1で示した半導体レーザ装置に対応する半導体レーザ装置31を有する。半導体レーザモジュールの筐体として、Cu-W合金などによって形成されたパッケージ39の内部底面上に、温度制御装置としてのペルチェモジュール38が配置される。ペルチェモジュール38上にはベース37が配置され、このベース37上にはヒートシンク37aが配置される。ペルチェモジュール38には、図示しない電流が与えられ、その極性によって冷却および加熱を行うが、半導体レーザ装置31の温度上昇による発振波長ずれを防止するため、主として冷却器として機能する。すなわち、ペルチェモジュール38は、レーザ光が所望の波長に比して長い波長である場合には、冷却して低い温度に制御し、レーザ光が所望の波長に比して短い波長である場合には、加熱して高い温度に制御する。この温度制御は、具体的に、ヒートシンク37a上であって、半導体レーザ装置31の近傍に配置されたサーミスタ38aの検出値をもとに制御され、図示しない制御装置は、通常、ヒートシンク37aの温度が一定に保たれるようにペルチェモジュール38を制御する。また、図示しない制御装置は、半導

体レーザ装置31の駆動電流を上昇させるに従って、ヒートシンク37aの温度が下がるようにペルチェモジュール38を制御する。このような温度制御を行うことによって、半導体レーザ装置31の波長安定性を向上させることができ、歩留まりの向上にも有効となる。なお、ヒートシンク37aは、たとえばダイヤモンドなどの高熱伝導率をもつ材質によって形成することが望ましい。これは、ヒートシンク37aがダイヤモンドで形成されると、高電流注入時の発熱が抑制されるからである。この場合、波長安定性がさらに向上し、しかも温度制御も容易になる。

【0118】ベース37上には、半導体レーザ装置31およびサーミスタ38aを配置したヒートシンク37a、第1レンズ32、およびモニタフォトダイオード36が配置される。半導体レーザ装置31から出射されたレーザ光は、第1レンズ32、アイソレータ33、および第2レンズ34を介し、光ファイバ35上に導波される。第2レンズ34は、レーザ光の光軸上であって、パッケージ39上に設けられ、外部接続される光ファイバ35に光結合される。なお、モニタフォトダイオード36は、半導体レーザ装置31の反射膜側から漏れた光をモニタ検出する。

【0119】ここで、この半導体レーザモジュールでは、他の光学部品などによる反射戻り光が共振器内に再入力しないように、半導体レーザ装置31と光ファイバ35との間にアイソレータ33を介在させている。このアイソレータ33には、ファイバグレーティングを用いた従来の半導体レーザモジュールと異なり、インライン式の偏波無依存型ではなく、小型の偏波依存型アイソレータを用いることができるため、低い相対強度雑音(RIN)を達成することができ、アイソレータによる挿入損失を小さくすることができ、低コスト化できる。

【0120】また、光ファイバ35端面における反射戻り光が半導体レーザ装置31に再入力することを避けるため、光ファイバ35の端面は光出射方向に対して斜めになるように形成されていることが好ましい。光ファイバ35の端面を斜めに形成することで、光ファイバ35の端面で反射した光はレーザ光出射方向に対して斜めに進行し、半導体レーザ装置31に再入力することはない。

【0121】また、実施の形態3では、実施の形態1で示した半導体レーザ装置をモジュール化しているため、散乱強度比について-13dB以下若しくは-28dB以下の値を有する。そのため、-13dB以下の場合3dB程度の光損失を有する光ファイバ増幅器に組み込むことが可能で、-28dB以下の場合任意の光ファイバ増幅器に組み込むことが可能である。これにより、誘導ブリルアン散乱の発生を抑制することができる。

【0122】(実施の形態4) つぎに、実施の形態4にかかる光ファイバ増幅器について説明する。本実施の形

態4は、上述した実施の形態3に示した半導体レーザモジュールをラマン増幅器に適用したものである。

【0123】図26は、この発明の実施の形態4であるラマン増幅器の構成を示すブロック図である。このラマン増幅器は、WDM通信システムに用いられる。図26において、このラマン増幅器は、上述した実施の形態3に示した半導体レーザモジュールと同一構成の半導体レーザモジュール40a～40dを用いた構成となっている。

【0124】各半導体レーザモジュール40a、40bは、偏波面保持ファイバ51を介して、複数の発振縦モードを有するレーザ光を偏波合成カプラ41aに出力し、各半導体レーザモジュール40c、40dは、偏波面保持ファイバ51を介して、複数の発振縦モードを有するレーザ光を偏波合成カプラ41bに出力する。ここで、半導体レーザモジュール40a、40bが発振するレーザ光は、同一波長である。また、半導体レーザモジュール40c、40dが発振するレーザ光は、同一波長であるが半導体レーザモジュール40a、40bが発振するレーザ光の波長とは異なる。これは、ラマン増幅が偏波依存性を有するためであり、偏波合成カプラ41a、41bによって偏波依存性が解消されたレーザ光として出力するようにしている。

【0125】各偏波合成カプラ41a、41bから出力された、異なる波長をもったレーザ光は、WDMカプラ42によって合成され、合成されたレーザ光は、WDMカプラ45を介してラマン増幅用の励起光として増幅用ファイバ44に出力される。この励起光が入力された増幅用ファイバ44には、増幅対象の信号光が入力され、ラマン増幅される。

【0126】増幅用ファイバ44内においてラマン増幅された信号光(増幅信号光)は、WDMカプラ45およびアイソレータ46を介してモニタ光分配用カプラ47に入力される。モニタ光分配用カプラ47は、増幅信号光の一部を制御回路48に出力し、残りの増幅信号光を出力光として信号光出力ファイバ50に出力する。

【0127】制御回路48は、入力された一部の増幅信号光をもとに各半導体レーザモジュール40a～40dのレーザ出力状態、たとえば光強度を制御し、ラマン増幅の利得帯域が平坦な特性となるようにフィードバック制御する。

【0128】この実施の形態4に示したラマン増幅器では、実施の形態1で示した半導体レーザ装置が内蔵された半導体レーザモジュール40aを用いるようにしている。なお、上述したように、各半導体レーザモジュール40a～40dは、複数の発振縦モードを有しているため、偏波面保持ファイバ長を短くすることができる。この結果、ラマン増幅器の小型軽量化とコスト削減を実現することができる。

【0129】なお、図26に示したラマン増幅器では、

偏波合成カプラ41a、41bを用いているが、図27に示すように半導体レーザモジュール40a、40cから、それぞれ偏波面保持ファイバ51を介して直接WDMカプラ42に光出力するようにしてもよい。この場合、半導体レーザモジュール40a、40cの偏波面は、偏波面保持ファイバ51に対して45度となるように入射する。ここで、上述したように、各半導体レーザモジュール40a、40cは、複数の発振縦モードを有しているため、偏波面保持ファイバ長51を短くすることができる。これによって、偏波面保持ファイバ51から出力される光出力の偏波依存性をなくすことができ、一層、小型かつ部品点数の少ないラマン増幅器を実現することができる。

【0130】また、半導体レーザモジュール40a～40dに内蔵される半導体レーザ装置として発振縦モード数が多い半導体レーザ装置を用いると、必要な偏波面保持ファイバ51の長さを短くすることができる。特に、発振縦モードが4、5本になると、急激に、必要な偏波面保持ファイバ51の長さが短くなるため、ラマン増幅器の簡素化と小型化を促進することができる。さらに、発振縦モードの本数が増大すると、コヒーレント長が短くなり、デポラライズによって偏光度(DOP:Degree of Polarization)が小さくなり、偏波依存性をなくすことが可能となり、これによても、ラマン増幅器の簡素化と小型化とを一層促進することができる。

【0131】また、上述した実施の形態3が有する作用効果をラマン増幅器に与えることができる。たとえば、ファイバグレーティングを用いた半導体レーザモジュールに比して相対強度雑音(RIN)を低減することができる、低雑音のラマン増幅をおこなうことができる。

【0132】さらに、このラマン増幅器では、ファイバグレーティングを用いた半導体レーザモジュールに比して光軸合わせが容易であり、共振器内に機械的な光結合がないため、この点からも、ラマン増幅の安定性、信頼性を高めることができる。

【0133】さらに、上述した実施の形態1の半導体レーザ装置は、散乱強度比について-13dB以下もしくは-28dB以下の値を有する。そのため、本実施の形態4において光損失が3dB程度存在する場合には散乱強度比が-13dB以下である半導体レーザ装置を用いて誘導ブリルアン散乱を完全に抑制することができる。また、本実施の形態4において光り損失がほとんど存在しない場合でも散乱強度比が-28dB以下である半導体レーザ装置を用いて誘導ブリルアン散乱を完全に抑制することができる。

【0134】なお、図26および図27に示したラマン増幅器は、後方励起方式であるが、上述したように、半導体レーザモジュール40a～40dが安定した励起光を出力するため、前方励起方式であっても、双方向励起

方式であっても、安定したラマン増幅を行うことができる。

【0135】たとえば、図28は、前方励起方式を採用したラマン増幅器の構成を示すブロック図である。図28に示したラマン増幅器は、図26に示したラマン増幅器にWDMカプラ45'をアイソレータ43の近傍に設けている。このWDMカプラ45'には、半導体レーザモジュール40a～40d、偏波合成カプラ41a、41bおよびWDMカプラ42にそれぞれ対応した半導体レーザモジュール40a'～40d'、偏波合成カプラ41a'、41b'およびWDMカプラ42'を有した回路が接続され、WDMカプラ42'から出力される励起光を信号光と同じ方向に出力する前方励起を行う。この場合、半導体レーザモジュール40a'～40d'は、上述した実施の形態3で用いられる半導体レーザモジュールを用いているため、RINが小さく、前方励起を効果的に行うことができる。

【0136】同様に、図29は、前方励起方式を採用したラマン増幅器の構成を示すブロック図である。図29に示したラマン増幅器は、図27に示したラマン増幅器にWDMカプラ45'をアイソレータ43の近傍に設けている。このWDMカプラ45'には、半導体レーザモジュール40a、40cおよびWDMカプラ42にそれぞれ対応した半導体レーザモジュール40a'、40c'およびWDMカプラ42'を有した回路が接続され、WDMカプラ42'から出力される励起光を信号光と同じ方向に出力する前方励起を行う。この場合、半導体レーザモジュール40a'、40c'は、上述した実施の形態3で用いられる半導体レーザモジュールを用いているため、RINが小さく、前方励起を効果的に行うことができる。

【0137】また、図30は、双方向励起方式を採用したラマン増幅器の構成を示すブロック図である。図30に示したラマン増幅器は、図26に示したラマン増幅器の構成に、図28に示したWDMカプラ45'、半導体レーザモジュール40a'～40d'、偏波合成カプラ41a'、41b'およびWDMカプラ42'をさらに設け、後方励起と前方励起とを行う。この場合、半導体レーザモジュール40a'～40d'は、上述した実施の形態3にかかる半導体レーザモジュールを用いているため、RINが小さく、前方励起を効果的に行うことができる。

【0138】同様に、図31は、双方向励起方式を採用したラマン増幅器の構成を示すブロック図である。図31に示したラマン増幅器は、図27に示したラマン増幅器の構成に、図29に示したWDMカプラ45'、半導体レーザモジュール40a'、40c'およびWDMカプラ42'をさらに設け、後方励起と前方励起とを行う。この場合、半導体レーザモジュール40a'、40c'は、上述した実施の形態3にかかる半導体レーザモジュールを用いているため、RINが小さく、前方励起を効果的に行うことができる。

ジューるを用いているため、RINが小さく、前方励起を効果的に行うことができる。

【0139】なお、上述した前方励起方式あるいは双方向励起方式における前方励起に用いられるラマン増幅用光源は、共振器長しが800μm未満であってもよい。共振器長Lを800μm未満とすると、上述したように発振縦モードのモード間隔△λが狭くなり、ラマン増幅用光源として用いる場合に発振縦モードの本数が少なくなり、大きな光出力を得ることができなくなるが、前方励起は後方励起に比較して低出力で済むため、必ずしも共振器長しが800μm以上である必要はない。

【0140】上述した図26～図31に示したラマン増幅器は、上述したようにWDM通信システムに適用することができる。図32は、図26～図31に示したラマン増幅器を適用したWDM通信システムの概要構成を示すブロック図である。

【0141】図32において、複数の送信機Tx1～Txnから送出された波長λ1～λnの光信号は、光合波器60によって合波され、1つの光ファイバ65に集約される。この光ファイバ65の伝送路上には、図26～図31に示したラマン増幅器に対応した複数のラマン増幅器61、63が距離に応じて配置され、減衰した光信号を増幅する。この光ファイバ65上を伝送した信号は、光分波器64によって、複数の波長λ1～λnの光信号に分波され、複数の受信機Rx1～Rxnに受信される。なお、光ファイバ65上には、任意の波長の光信号の付加、取り出しをおこなうADM(Add/Drop Multiplexer)が挿入される場合もある。

【0142】なお、上述した実施の形態4では、実施の形態1に示した半導体レーザ装置あるいは実施の形態3に示した半導体レーザモジュールを、ラマン増幅用の励起光源に用いる場合を示したが、これに限らず、たとえば、0.98μmなどのEDFA励起用光源として用いることができるるのは明らかである。特に、励起光のEDFまでの伝送距離が数km～数十km以上となるようなEDFAにおいては、実施の形態1にかかる半導体レーザ装置を励起光源に用いることで、伝送中の誘導ブリルアン散乱に起因した増幅利得の低下を効果的に抑制することができる。

【0143】

【発明の効果】以上説明したように、請求項1～3および6～13の発明によれば、発振縦モードの最大光強度に対する差分値が10dB以下の発振縦モードの本数が所定数以上である構造としたため、誘導ブリルアン散乱を抑制し、光ファイバ増幅器等と組み合わせて使用することで誘導ブリルアン散乱の発生を完全に抑制できるという効果を奏する。

【0144】また、請求項4、5および8～13の発明によれば、発振波長スペクトルのRMS法のスペクトル幅を所定値以上広いこととしたため、誘導ブリルアン散

乱を抑制し、光ファイバ増幅器等と組み合わせて使用することで誘導ブリルアン散乱の発生を完全に抑制できるという効果を奏する。

【0145】また、請求項14～16の発明によれば、請求項1～13のいずれかにかかる半導体レーザ装置を備える構造としたため、誘導ブリルアン散乱の発生を完全に抑制できるという効果を奏する。

【0146】また、請求項17～19の発明によれば、請求項1～13のいずれかにかかる半導体レーザ装置または請求項14～16のいずれかにかかる半導体レーザモジュールを備える構造としたため、誘導ブリルアン散乱の発生を完全に抑制した光ファイバ増幅器を実現できるという効果を奏する。

【0147】また、請求項20～23の発明によれば、発振縦モードの最大光強度に対する差分値が10dB以下の発振縦モードの本数と誘導ブリルアン散乱の発生の有無とは相関関係を有するため、該発振縦モードの本数を測定することで、誘導ブリルアン散乱を発生することのない半導体レーザ装置の用途を選別できるという効果を奏する。

【0148】また、請求項24の発明によれば、発振波長スペクトルについて、RMS法のスペクトル幅と、誘導ブリルアン散乱の発生の有無とは相関関係を有するため、発振波長スペクトルのRMS法のスペクトル幅を測定することで、誘導ブリルアン散乱を発生することのない半導体レーザ装置の用途を選別できるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施の形態1にかかる半導体レーザ装置の構造を示す正面図である。

【図2】実施の形態1にかかる半導体レーザ装置の構造を示す側面断面図である。

【図3】実施の形態1にかかる半導体レーザ装置の発振波形を示す模式図である。

【図4】実施の形態1において回折格子の構造の一例を示す図である。

【図5】実施の形態1にかかる半導体レーザ装置の発振波形を示す模式図である。

【図6】実施の形態1において回折格子の構造の他の例を示す図である。

【図7】発振縦モードの最大光強度に対する差分値が10dB以下となる発振縦モードの本数が14本となる半導体レーザ装置の発振波形を示すグラフである。

【図8】発振縦モードの最大光強度に対する差分値が10dB以下となる発振縦モードの本数が20本となる半導体レーザ装置の発振波形を示すグラフである。

【図9】発振縦モードの最大光強度に対する差分値が10dB以下となる発振縦モードの本数が6本となる半導体レーザ装置の発振波形を示すグラフである。

【図10】散乱強度比の測定装置の構造を示す模式図で

10

ある。

【図11】光強度の変化と散乱強度比の関係を示すグラフである。

【図12】発振縦モードの最大光強度に対する差分値が10dB以下となる発振縦モードの本数と散乱強度比との関係を示すグラフである。

【図13】注入電流値を変化させた場合の発振縦モードの最大光強度に対する差分値が10dB以下となる発振縦モードの本数と散乱強度比との関係を示すグラフである。

【図14】半導体レーザ装置の温度を変化させた場合の発振縦モードの最大光強度に対する差分値が10dB以下となる発振縦モードの本数と散乱強度比との関係を示すグラフである。

【図15】DSFを伝送用光ファイバとした場合において、DSF内部において誘導ブリルアン散乱が発生する光強度の閾値 $f(x)$ と、内部を伝送するレーザ光のモード本数との関係を示すグラフである。

【図16】実施の形態1にかかる半導体レーザ装置から出力されるレーザ光の全体強度に対する発振縦モードの最大光強度の比 $g(x)$ と、モード本数との関係を示すグラフである。

【図17】DSF中において誘導ブリルアン散乱の発生を防止するモード本数を導出するためのグラフである。

【図18】DSFと異なるファイバA、ファイバB中に全体強度が200mWのレーザ光を伝送させた場合に誘導ブリルアン散乱の発生を防止するモード本数を導出するためのグラフである。

【図19】DSFと異なるファイバA、ファイバB中に全体強度が100mWのレーザ光を伝送させた場合に誘導ブリルアン散乱の発生を防止するモード本数を導出するためのグラフである。

【図20】伝送用光ファイバの実効断面積と、必要なモード本数との関係を示すグラフである。

【図21】伝送用光ファイバの実効断面積と、より好ましいモード本数との関係を示すグラフである。

【図22】発振波長スペクトルについて、-20dBのスライスレベルにおけるRMS法のスペクトル幅と散乱強度比との関係を示すグラフである。

40 【図23】実施の形態2にかかる半導体レーザ装置の選別方法の内容を示すフローチャートである。

【図24】実施の形態2の変形例にかかる半導体レーザ装置の選別方法の内容を示すフローチャートである。

【図25】実施の形態3にかかる半導体レーザモジュールの構造を示す側面断面図である。

【図26】実施の形態4にかかる光ファイバ増幅器の構成を示すブロック図である。

【図27】実施の形態4にかかる光ファイバ増幅器の応用例を示すブロック図である。

【図28】実施の形態4にかかる光ファイバ増幅器の変

50

形例であって、前方励起方式を採用した光ファイバ増幅器の構成を示すブロック図である。

【図29】図28に示した光ファイバ増幅器の応用例を示すブロック図である。

【図30】実施の形態4にかかる光ファイバ増幅器の変形例であって、双方向励起方式を採用した光ファイバ増幅器の構成を示すブロック図である。

【図31】図30に示した光ファイバ増幅器の応用例を示すブロック図である。

【図32】実施の形態4にかかる光ファイバ増幅器を用いたWDM通信システムの概要構成を示すブロック図である。

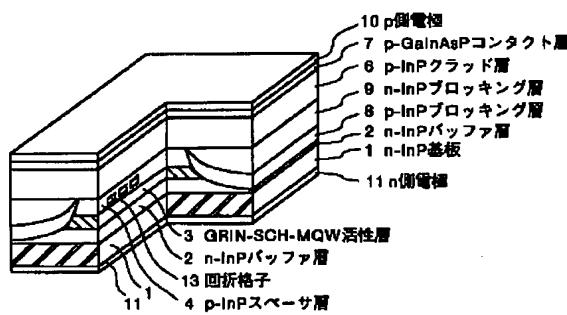
【符号の説明】

- 1 n-InP基板
- 2 n-InPバッファ層
- 3 GRIN-SCH-MQW活性層
- 4 p-InPスペーサ層
- 6 p-InPクラッド層
- 7 p-GaInAsPコンタクト層
- 8 p-InPブロッキング層
- 9 n-InPブロッキング層
- 10 p側電極
- 11 n側電極
- 13 回折格子
- 14 反射側反射膜
- 15 出射側反射膜
- 16 発振波長スペクトル
- 17~19 発振縦モード
- 21 カプラ
- 22 半導体レーザ装置

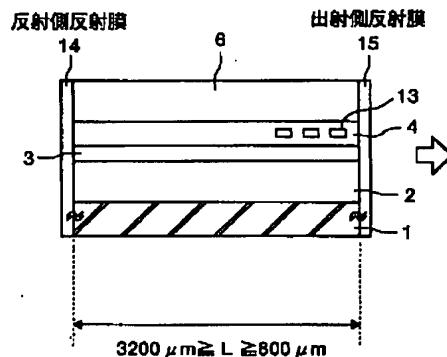
- * 23 反射光測定手段
- 24 伝送用光ファイバ
- 25 入力光測定手段
- 26 出力光測定手段
- 31 半導体レーザ装置
- 32 レンズ
- 33 アイソレータ
- 34 レンズ
- 35 光ファイバ
- 10 36 モニタフォトダイオード
- 37 a ヒートシンク
- 37 ベース
- 38 a サーミスタ
- 38 ペルチェモジュール
- 39 パッケージ
- 20 40 a~40 d 半導体レーザモジュール
- 41 a、41 b 偏波合成カプラ
- 42、45 WDMカプラ
- 43 アイソレータ
- 44 増幅用ファイバ
- 46 アイソレータ
- 47 モニタ光分配用カプラ
- 48 制御回路
- 50 信号光出力ファイバ
- 51 偏波面保持ファイバ
- 60 光合波器
- 61 ラマン増幅器
- 64 光分波器
- 65 光ファイバ

*30

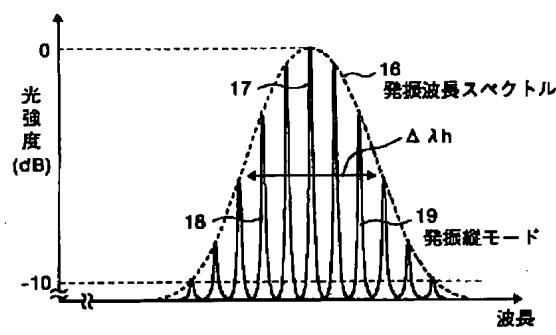
【図1】



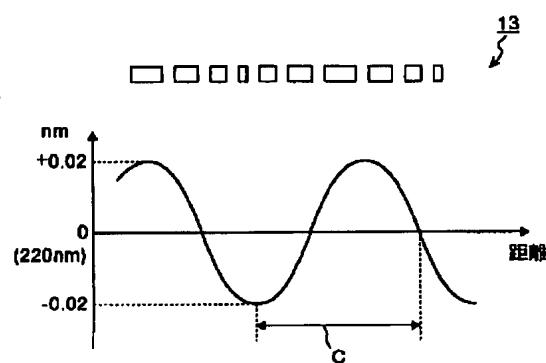
【図2】



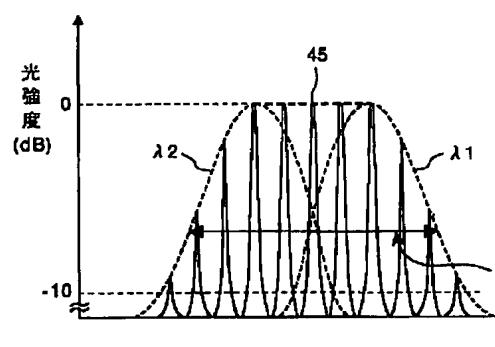
【図3】



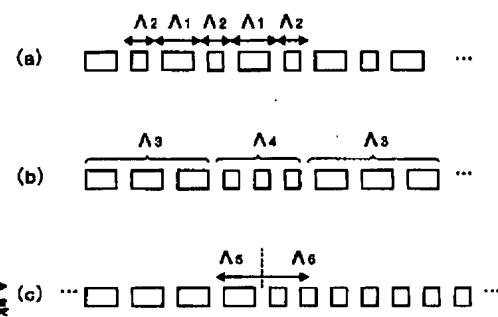
【図4】



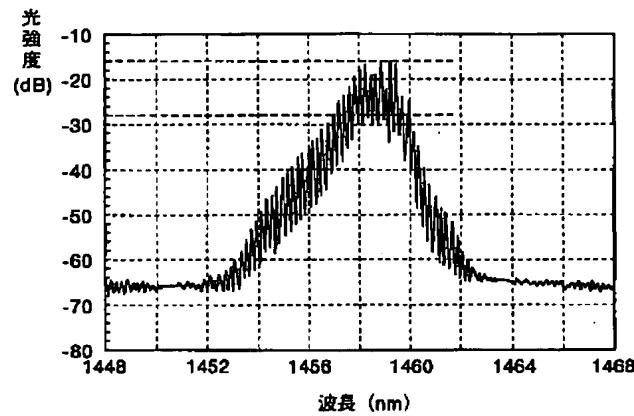
【図5】



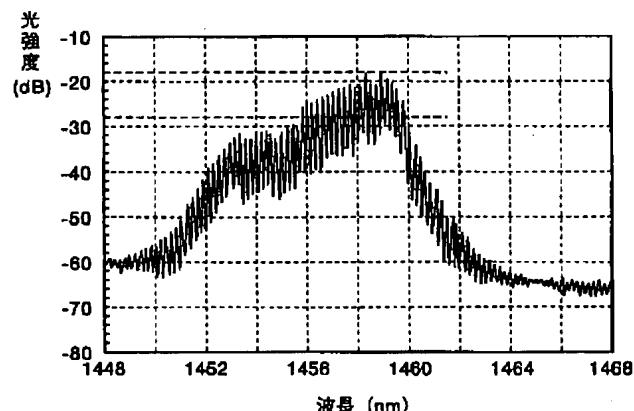
【図6】



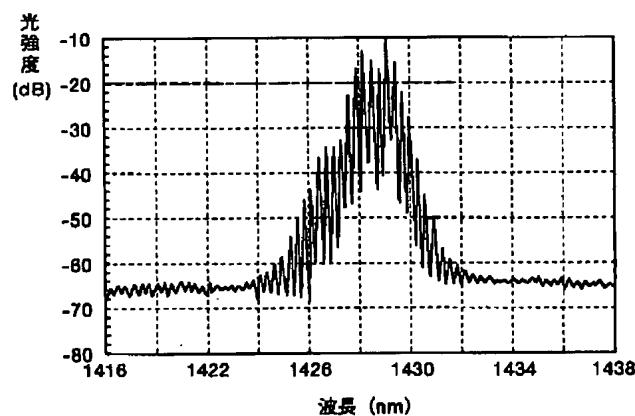
【図7】



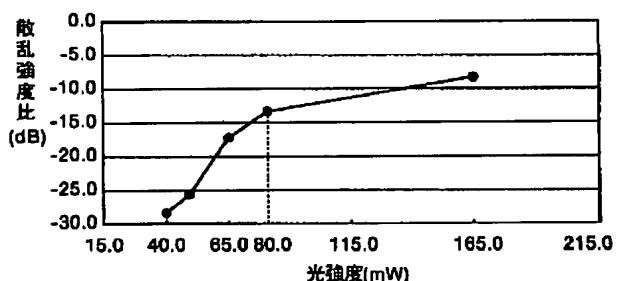
【図8】



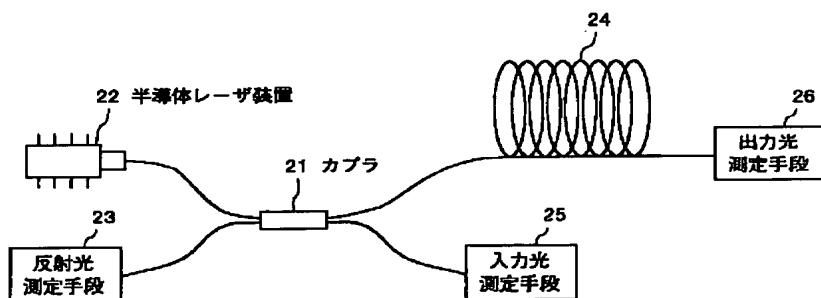
【図9】



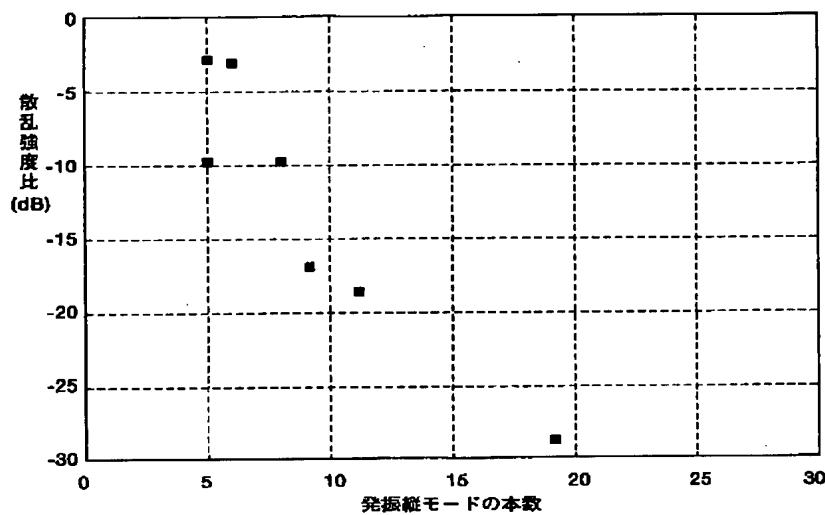
【図11】



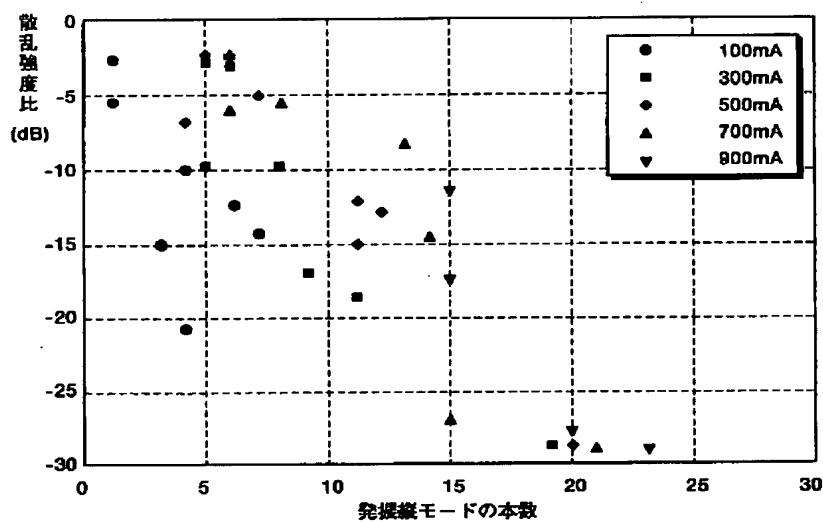
【図10】



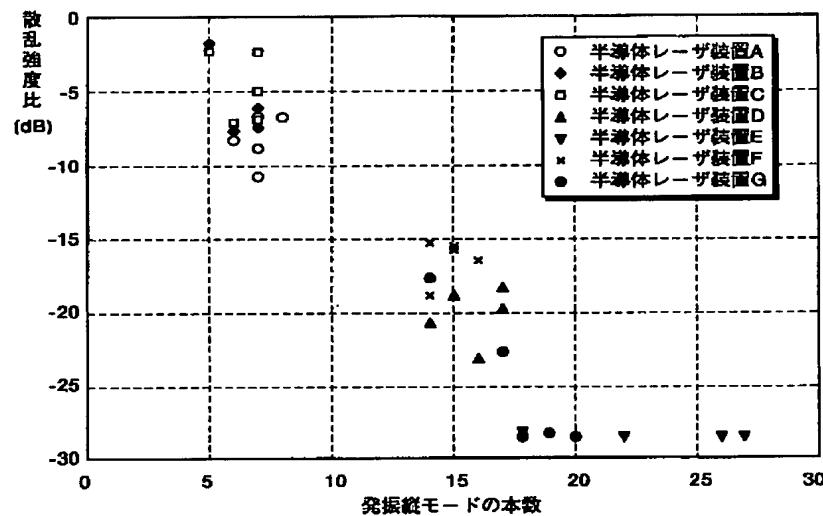
【図12】



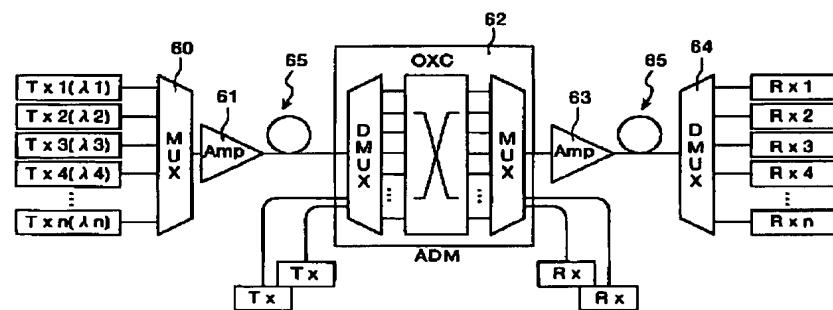
【図13】



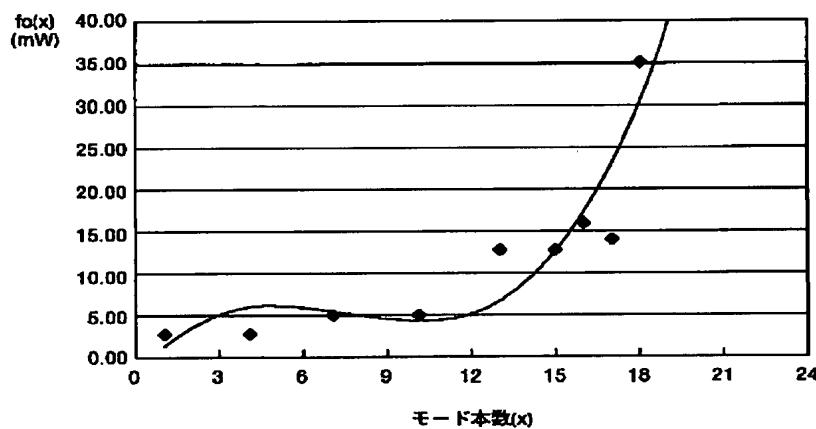
【図14】



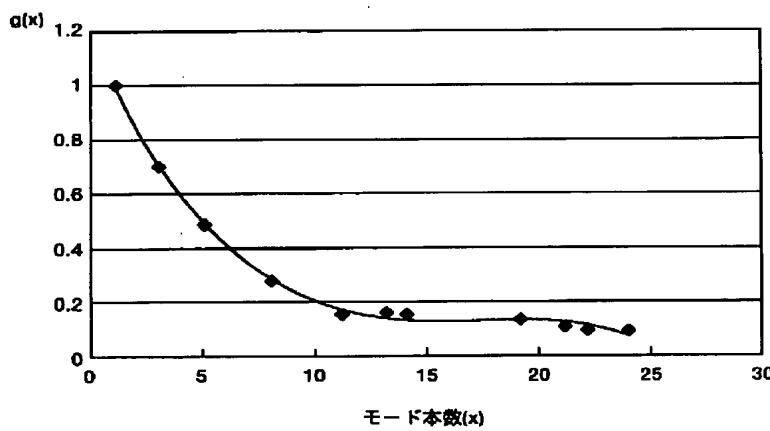
【図32】



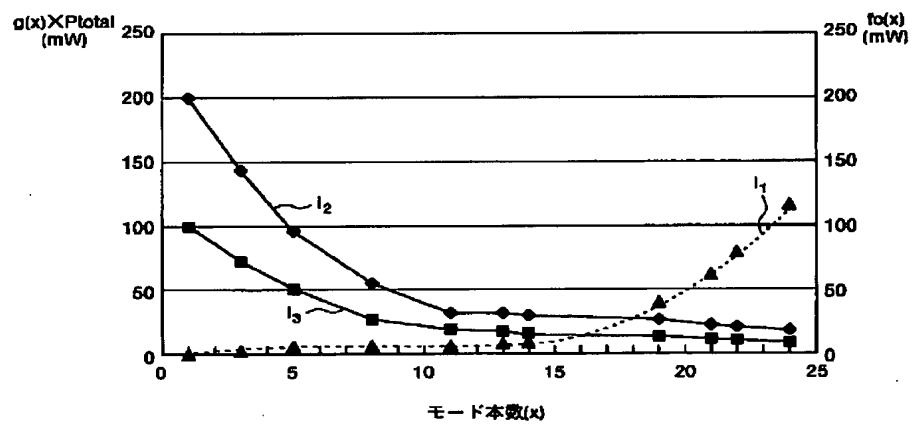
【図15】



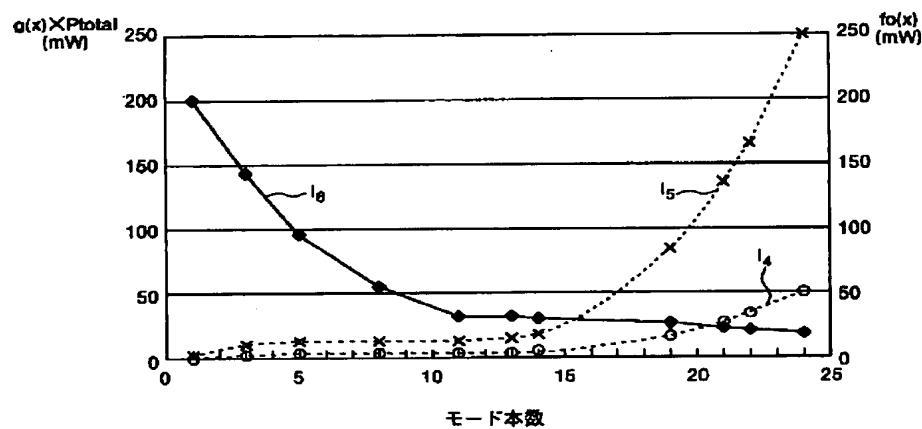
【図16】



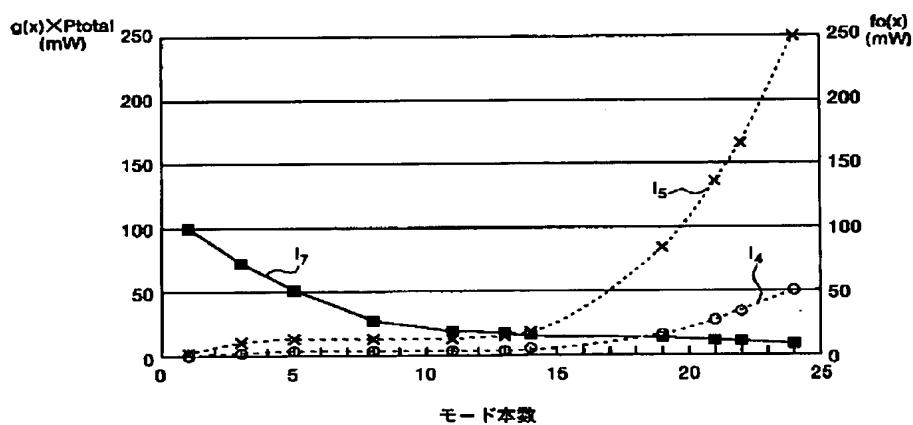
【図17】



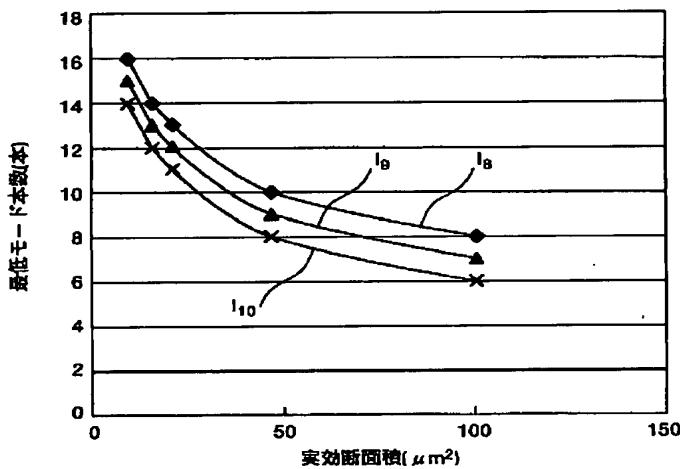
【図18】



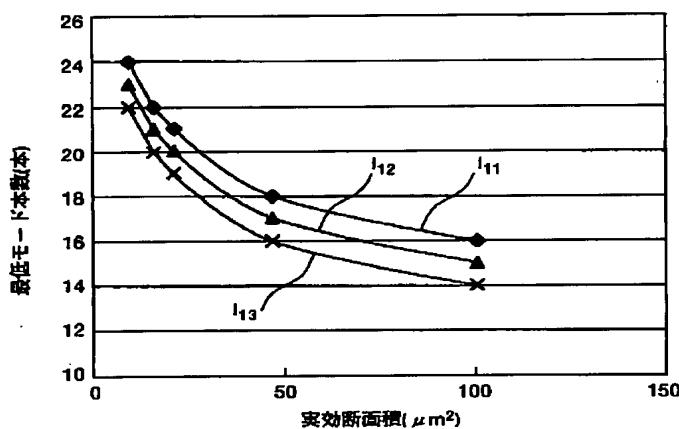
【図19】



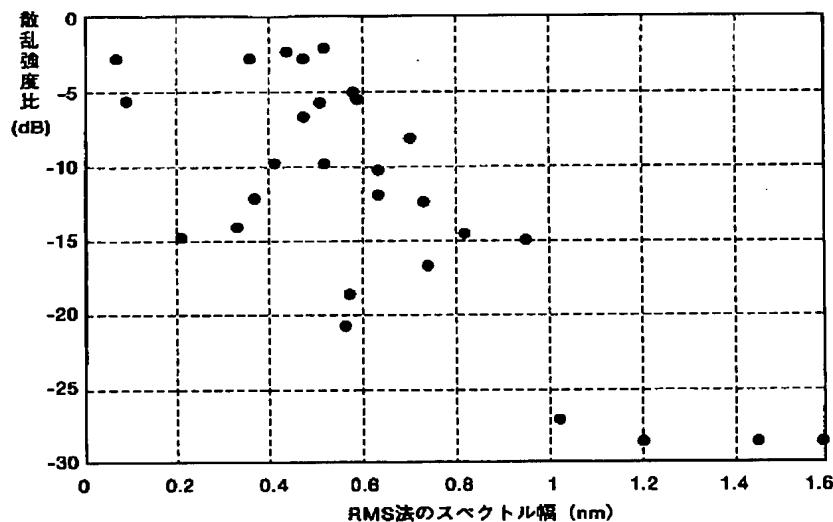
【図20】



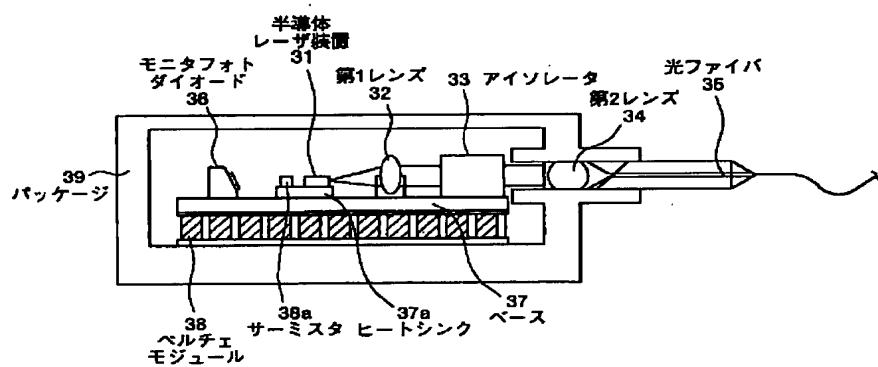
【図21】



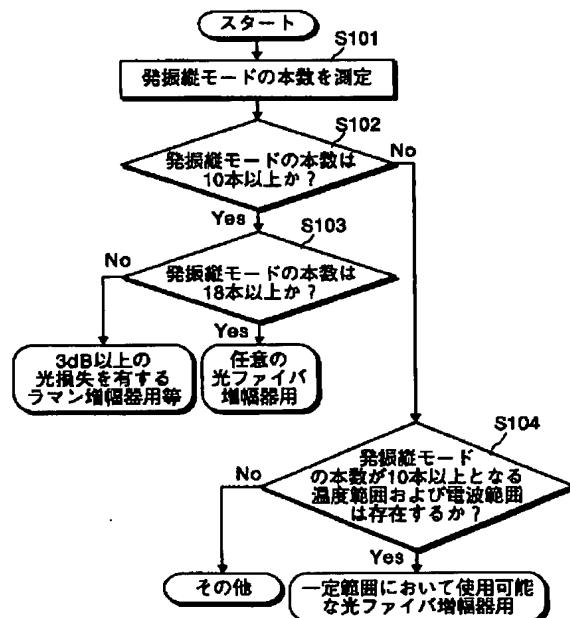
【図22】



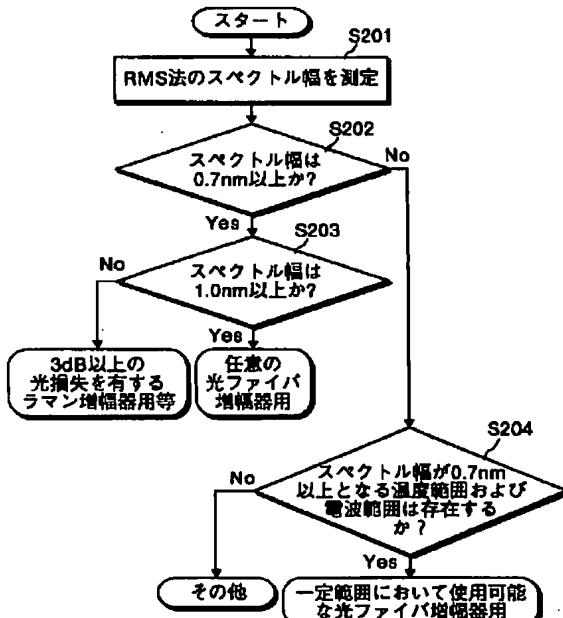
【図25】



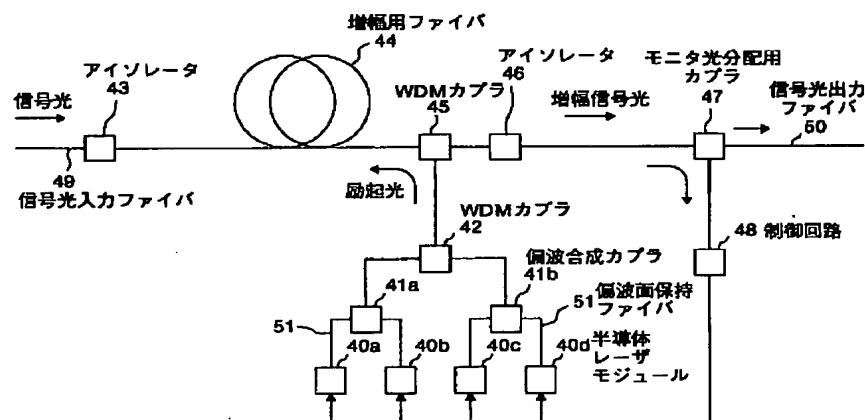
【図23】



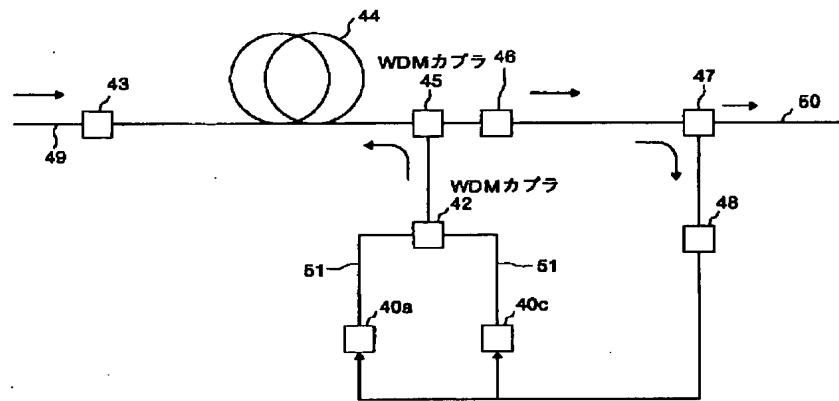
【図24】



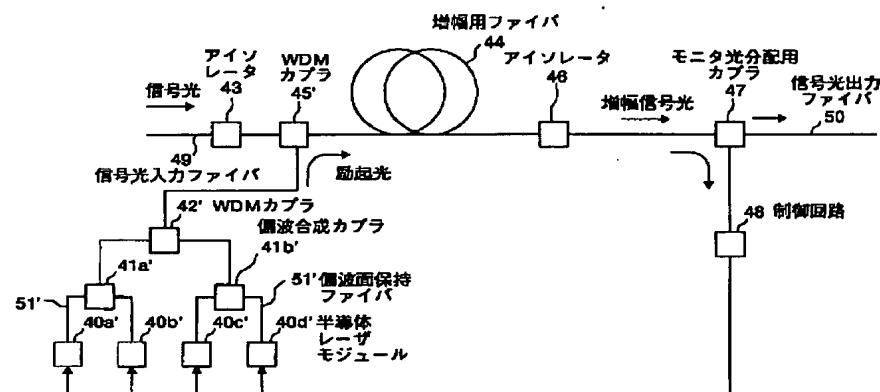
【図26】



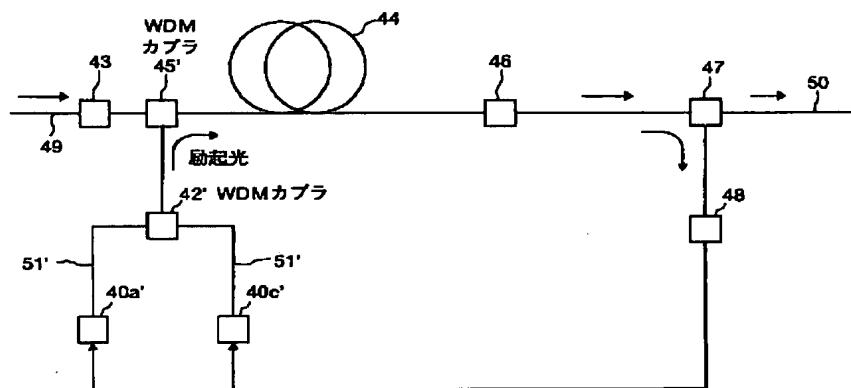
【図27】



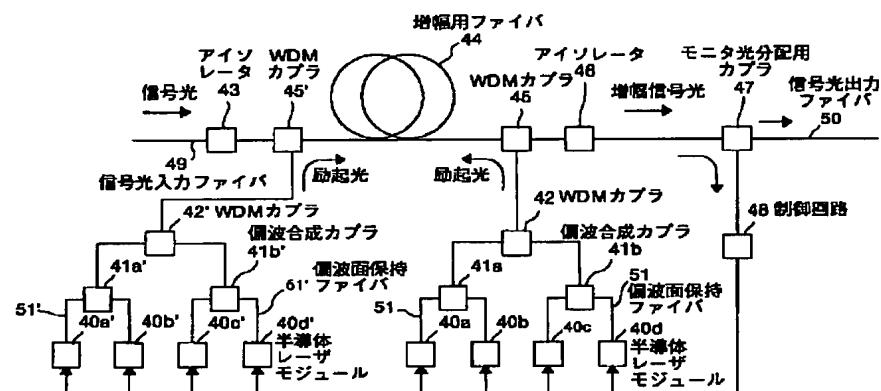
【図28】



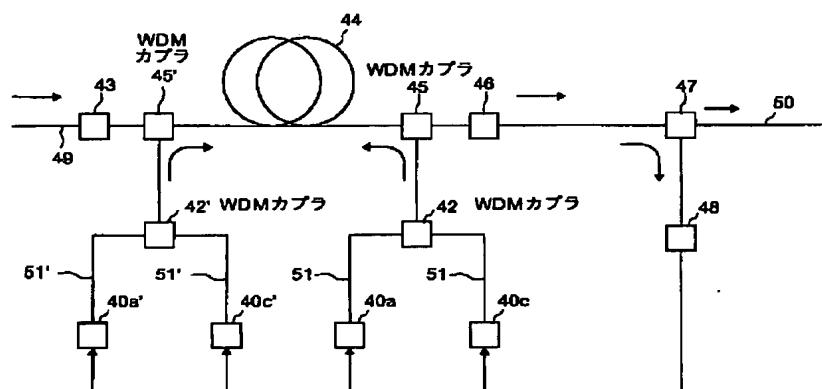
【図29】



[图 30]



【図31】



フロントページの続き

(72) 発明者 築地 直樹
東京都千代田区丸の内 2 丁目 6 番 1 号 古
河電気工業株式会社内

(72) 発明者 大木 泰
東京都千代田区丸の内 2丁目 6番 1号 古
河電気工業株式会社内

F ターム(参考) 2H037 AA01 BA03 CA00 CA10 DA38
5F072 AB07 AK06 JJ04 JJ20 KK30
PP07 QQ07 RR01 YY17
5F073 AA22 AA46 AA65 AA67 AA74
AA83 AB27 AB28 AB30 BA03
CA02 CB02 EA01 FA02 FA25